

Unterstützung von Information-Retrieval-Dialogen mit Informationssystemen durch interaktive Informationsvisualisierung

Dem Fachbereich Informatik
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)
vorgelegte

Dissertation

von
Dipl.-Inform.

Matthias Hemmje

aus Pfungstadt

Referent: Prof. Dr. E. J. Neuhold

Koreferent: Prof. Dr. Ralf Steinmetz

Tag der Einreichung: 3. September 1999

Tag der mündlichen Prüfung: 29. November 1999

Darmstadt 1999

D 17

Darmstädter Dissertation

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Integrierte Publikations- und Informationssysteme (IPSI) der GMD - Forschungszentrum Informationstechnik GmbH in Darmstadt. Sie basiert auf Arbeiten, Ergebnissen und Erfahrungen, die ich während der Entwicklung des LyberWorld-Systems machen konnte. Die Arbeit ist aus diesem Grunde einerseits im Rahmen des Projektes LyberWorld der Abteilung VISIT (Visuelle Interaktionswerkzeuge) zu sehen, dem ich als Mitarbeiter angehörte, andererseits ist sie aber auch in sich abgeschlossen.

Mein Dank gilt meinen Kollegen Heinz-Dieter Böcker, Ulrich Thiel und Adelheid Stein, die mein Interesse an Benutzungsschnittstellen zu Informationssystemen und insbesondere an den Problemen einer kognitiv effizienten Gestaltung solcher Schnittstellen geweckt und mich in meiner wissenschaftlichen Tätigkeit bei der GMD immer beraten und gefördert haben. Weiterhin bedanke ich mich bei allen Kollegen und Studenten der Forschungsbereiche OASYS und CUI des GMD-IPSI für die zahlreichen Diskussionen.

Meinen Promotionskollegen Jana Dittmann und Arnd Steinmetz gilt mein Dank für die gute Zusammenarbeit in unseren gemeinsamen Forschungsprojekten am GMD-IPSI und ihr motivierendes Vorbild hinsichtlich der zügigen Fertigstellung der Arbeit. Mein sehr persönlicher Dank gilt meinem Mentor Karl Aberer für die unermüdliche Beratung in formalen Fragen in der Schlußphase der Erstellung dieser Arbeit sowie für das gewissenhafte Korrekturlesen und Hinterfragen, welches wesentlich zur vorliegenden Qualität meiner Arbeit beigetragen hat.

Ferner danke ich Herrn Professor Erich Neuhold, der durch wertvolle Anregungen und Hinweise das Entstehen der vorliegenden Arbeit gefördert und beeinflußt hat, sowie Herrn Professor Ralf Steinmetz für die Übernahme des Koreferats. Bei Bruce Croft, Nick Belkin, Jim Foley, Ben Shneiderman, Robert Korfhage, Peter Ingwersen und Steve Draper bedanke ich mich für interessante und weiterführende Diskussionen über meiner Ansätze.

Darmstadt, im August 1999

Matthias Hemmje

Kurzfassung

Gegenstand dieser Arbeit ist die Anforderungsanalyse, die Modellierung, der Entwurf und die exemplarische Realisierung, Integration und Bewertung eines Interaktiven Informationsvisualisierungsmodells zur Unterstützung von Informationsdialogen mit Information-Retrieval-Systemen, von darauf aufbauenden interaktiven Informationsvisualisierungsbeispielen, den dazu korrespondierenden Softwarekomponenten sowie deren integriertem Einsatz und Bewertung in einer exemplarischen Anwendungslösung für die Unterstützung interaktiver visuell-direktmanipulative Informationsdialoge mit einem Informations-Retrieval-System. Die Arbeit enthält den Entwurf und die Implementierung der prototypischen Anwendung LyberWorld zur computergraphischen Visualisierung von inhaltsorientierten Informationsdialogen zwischen naiven Benutzern und Datenbanksystemen mit Information-Retrieval-Funktionen.

Im Vordergrund steht dabei das Ziel, naiven Benutzern innerhalb eines visuell-direktmanipulativen Informationsdialoges eine Unterstützung bei der Benutzung von Information-Retrieval- und Data-Mining-Funktionen auf der Basis von interaktiven Informationsvisualisierungskomponenten zur Verfügung zu stellen. Bezüglich der kognitiven Effizienz der Benutzung solcher Informationsvisualisierungskomponenten durch einen naiven Benutzer, ist es die Grundannahme der Arbeit, daß bei unveränderter Informations-Retrieval-Basisfunktionalität mit Hilfe einer geeigneten graphischen Benutzungsschnittstelle durch Ausnutzung der menschlichen Fähigkeit zur visuellen Wahrnehmung und direktmanipulativen Interaktion ein natürlicherer und kognitiv effizienterer Informationsdialog erzielt wird, als dies mit herkömmlichen z.B. Formblatt- oder formalsprachlich orientierten Interaktionsparadigmen der Fall ist. Aus diesem Grund werden in der Arbeit visuell-direktmanipulative Informationsvisualisierungs- und Darstellungsmethoden sowie visuell-direktmanipulative Metaphern für elementare Funktionen des Informationsdialoges hergeleitet, implementiert und miteinander integriert.

Im Gegensatz zu anderen Ansätzen, die Kommando-, Menü- oder Formblatt-orientierte Interaktionsparadigmen verwenden, schlagen wir für die Mensch-Maschine-Schnittstelle von Informationssystemen eine interaktive Informationsvisualisierung vor, bei der den geometrischen, räumlichen und graphischen Attributen der dargestellten

Informationsobjekte besondere Bedeutung zukommt. Mehrdimensionale, computergraphische Informationsvisualisierungen des informationellen Kontextes des Informationsdialoges bilden das gemeinsame Kommunikations- und Interaktionsmedium zwischen den konzeptuellen Informationsmodellen und den Information-Retrieval-Funktionen des Systems sowie dem mentalen Modell, das der Benutzer von der Informationsmenge und den Informationsfunktionen des Informationssystems hat. Dabei besteht zwischen den visuell-direktmanipulativen computergraphischen Informationsvisualisierungsobjekten der Benutzungsschnittstelle und den Informationsobjekten der Datenbasis eine funktionale Verknüpfung, die dem Benutzer durch die visuelle Ausprägung der graphischen Visualisierungsobjekte und die Verwendung von visuellen Metaphern vermittelt wird. Die automatischen Such- und Bewertungsfunktionen des Datenbank- oder Information-Retrieval-Systems werden ebenfalls in Form visuell-direktmanipulativer Interaktionsmechanismen zur Verfügung gestellt.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Vorwort | iii |
| Kurzfassung | v |
| Inhaltsverzeichnis..... | vii |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 1.1 Ziel der Arbeit | 2 |
| 1.2 Ansatz | 3 |
| 1.3 Gliederung der Arbeit..... | 3 |
| 2 Basisfunktionalität von Informationssystemen - Stand der Forschung | 5 |
| 2.1 Datenmodelle und Datenbanksysteme | 5 |
| 2.2 Information-Retrieval-Systeme | 8 |
| 2.2.1 Exact-Match-Modelle..... | 10 |
| 2.2.2 Best-Match-Modelle..... | 13 |
| 2.2.3 Relevance-Feedback-Modelle | 23 |
| 2.2.4 Intelligente Modelle..... | 25 |
| 2.2.5 Neuronale Modelle | 29 |
| 3 Überblick über verwandte Arbeiten und Anforderungsdefinition..... | 31 |
| 3.1 Interaktive Informationsvisualisierungssysteme - Stand der Forschung..... | 31 |
| 3.1.1 GUIDO | 32 |
| 3.1.2 VIBE..... | 33 |
| 3.1.3 Info-Crystal..... | 34 |
| 3.1.4 Starfields..... | 36 |
| 3.1.5 Tree-Maps..... | 38 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.1.6 | 3D Rooms | 39 |
| 3.1.7 | Cone Trees | 40 |
| 3.1.8 | Perspective Wall | 42 |
| 3.1.9 | Bead | 43 |
| 3.1.10 | Populated Information Terrains | 47 |
| 3.1.11 | Butterfly | 50 |
| 3.2 | Resultierende Anforderungen | 53 |
| 4 | Das Interaktive Informationsvisualisierungsmodell | 57 |
| 4.1 | Information durch interaktive Information-Retrieval-Dialoge | 58 |
| 4.2 | Unterstützung von Wahrnehmung und Kognition | 59 |
| 4.3 | Gegenstand und Struktur des Informationsdialoges | 63 |
| 4.4 | Aufgaben und Aktivitäten im Informationsdialog | 70 |
| 4.5 | Information durch interaktive Visualisierung | 78 |
| 4.6 | Gegenstände und Funktionen der interaktiven Informationsvisualisierung | 84 |
| 5 | Entwurf von interaktiven Informationsvisualisierungen | 89 |
| 5.1 | Ausgangspunkt des Systementwurfs | 89 |
| 5.2 | Entwurf der Informationsvisualisierungen | 93 |
| 5.2.1 | Der Kontextkegelbaum | 95 |
| 5.2.2 | Die Relevanzkugel | 122 |
| 5.3 | Realisierung der Informationsvisualisierungen | 141 |
| 6 | Integrierte Anwendung, Bewertung und Ausblick | 145 |
| 6.1 | Prototyp LyberWorld2Cordis | 145 |
| 6.2 | Bewertung und Redesign der Kontexbaumvisualisierung | 151 |
| 6.3 | Bewertung und Redesign der Relevanzkugelvisualisierung | 152 |
| 6.4 | Offene Punkte und Ausblick | 153 |

| | |
|--|------------|
| Anhang A: Literaturverzeichnis | 155 |
| Anhang B: Abbildungsverzeichnis..... | 169 |
| Anhang C: Definitionsverzeichnis..... | 171 |

1 Einleitung

Information und Wissen sind der Gegenstand kognitiver Prozesse. Wissen ist in den kognitiven Gesamtzustand eines Menschen integrierte Information. Information stellt also in gewisser Weise fragmentiertes Wissen dar [Brookes 81]. Benötigt wird Wissen unter anderem zur Bewältigung von Problemlösungsprozessen. Lösungen für Probleme und Aufgaben, also *Gespeichertes Wissen*, stellen dabei eine wichtige informationelle Ressource dar. Bestimmte Teile eines Problemlösungsprozesses, lassen sich demzufolge als Informationsprozesse betrachten. Es ist die wichtigste Anforderung an ein automatisches oder halbautomatisches Unterstützungswerkzeug in einem solchen Informationsprozeß, dem Benutzer auf transparente Weise geeignete Repräsentations- und Speicher- sowie Beschreibungs- und Zugriffstechniken für Information anzubieten. Diese müssen es erlauben Information abzuspeichern und bei Bedarf jederzeit auf effiziente Art und Weise wiederzugewinnen. Die Literatur der Forschungsgebiete Information-Retrieval und Datenbanken beschreibt dafür eine Vielzahl von Lösungsansätzen und Methoden. Diese unterstützen den Benutzer innerhalb seines kognitiven Informationsverarbeitungsprozesses dadurch, daß sie ihm externe computertechnische Funktionalitäten und Ressourcen zum Speichern, Verwalten, sowie zum gezielten Zugreifen und effizienten automatischen oder halbautomatischen Wiederauffinden von Information in Form elektronischer Daten anbieten. Dabei stellen in digitalen Datensätzen abgespeicherte Fakteninformationen und darauf aufbauende umfangreichere und komplexere informationelle Dokumente potentielle Antworten auf einen Informationsbedarf des Benutzers dar [Robertson 81].

Im Laufe der informationstechnischen Entwicklung werden immer leistungsfähigere maschinelle Methoden entwickelt, um Benutzer bei der Erledigung ihrer Informationsaufgaben zu unterstützen. Benutzungsschnittstellen von sogenannten Informationssystemen arbeiten als Vermittler zwischen benutzerdefinierten Problemfeldern informationeller Natur und deren effizienter Lösung durch automatische Gewinnung von Information mit Hilfe von Methoden der elektronischen Datenverarbeitung. Durch die Verwendung eines Informationssystems zum Zwecke der Problemlösung oder der Entscheidungsunterstützung kommen auf den Benutzer neben der Bewältigung seines Informationsdefizites jedoch gleichzeitig eine Reihe von Folgeproblemen zu. Dazu

gehören unter anderem die Bestimmung der genauen Natur des Informationsdefizites, die Formulierung einer angemessenen Anfrage nach Information sowie die sensorische und kognitive Aufnahme, Analyse und Relevanzbewertung von informationellen Antworten des Informationssystems. Auch die abschließende Bewertung der Verwendbarkeit potentieller informationeller Ergebnisse zur Lösung des initialen Problems oder zur Unterstützung in einer Entscheidungssituation gehört dazu. Dabei wird der Benutzer oftmals durch die Komplexität der ihm angebotenen Funktionalität des Informationssystems und die Heterogenität einer Vielzahl von unterschiedlichen Benutzungsoberflächen, Interaktionsparadigmen und Bedienungsfunktionen zusätzlich belastet [Shneiderman et al. 97]. Informationssysteme zur Führung computerunterstützte Informationsdialoge sind deshalb zu einer wichtigen Forschungsaufgabe innerhalb des Bereiches der elektronischen Datenverarbeitung geworden. Dies gilt um so mehr angesichts der wachsenden Menge elektronisch gespeicherter multimedialer Dokumente auf weltweit verteilten Informationsspeichern und deren Verfügbarkeit über transparente Zugriffsprotokolle innerhalb von leistungsfähigen lokalen oder globalen Datennetzen wie dem Internet in Verbindung mit sogenannten Netzwerkdiensten wie *dem World Wide Web*. Genauso rasch wie die durch elektronisches Publizieren erzeugte, weltweit verfügbare Informationsmenge steigt, wächst auch die Anzahl der naiven Benutzer solcher Systeme, denn der computerunterstützte Zugriff auf elektronisch archivierte Information wird in vielen Bereichen des täglichen Lebens immer selbstverständlicher und damit immer mehr zu einer neuen Kulturtechnologie.

1.1 Ziel der Arbeit

Gegenstand dieser Arbeit ist die Konzeption eines interaktiven Informationsvisualisierungsmodells und der exemplarische Entwurf sowie die prototypische Entwicklung von korrespondierenden interaktiven Informationsvisualisierungsfunktionen und interaktiven Informationsvisualisierungskomponenten für den Einsatz in graphischen Benutzungsschnittstellen zu Information-Retrieval- und Datenbanksystemen sowie deren exemplarische Integration und Bewertung innerhalb einer konkreten Anwendungslösung. Dabei werden sowohl Benutzeraktivitäten, welche die inhaltliche Bearbeitung einzelner Teilschritte von Informationsdialogen als auch solche welche die Verwaltung der Explorationsstruktur des Informationsdialoges, des zugehörigen informationellen Kontextes sowie die Relevanzbewertung der gewonnenen

informationellen Ergebnismengen zum Gegenstand haben, unterstützt, um die kognitive Belastung des Benutzers im Informationsdialog zu reduzieren. Dies wird erreicht, indem den Benutzern die Basisfunktionalitäten von Information-Retrieval- und Datenbanksystemen auf visuell-direktmanipulative Art und Weise zur Verfügung gestellt werden.

1.2 Ansatz

Um den Anforderungen an eine intuitiv nutzbare und kognitiv effiziente Benutzungsschnittstelle für naive Benutzer von Informationssystemen gerecht zu werden, entwirft die vorliegende Arbeit geeignete Informationsvisualisierungs- und Interaktionsmechanismen unter Einsatz von computergraphischen Informationsvisualisierungen als visuellem Kommunikationsmedium. Die Anforderungsdefinition erfolgt auf der Basis einer Analyse von Information-Retrieval-Modellen und einer Betrachtung verwandter Arbeiten im Gebiet Informationsvisualisierung sowie den bereits in der Literatur etablierten Benutzungsmodellen von Informationssystemen. Das darauf aufbauend neu vorgeschlagene interaktive Informationsvisualisierungsmodell unterstützt den Entwurf von Benutzungsschnittstellen zu Informationssystemen, die einen visuell-direktmanipulativen Umgang mit Informationsobjekten unterschiedlicher Natur in einer integrierten visuell-direktmanipulativen Wahrnehmungs- und Interaktionsumgebung in Form eines Informationsdialoges zwischen Benutzer und dem Informationssystem erlauben. Die Basisfunktionalitäten der zugrundeliegenden Information-Retrieval- und Datenbanksysteme werden dabei den Benutzern im Sinne einer *first-person-experience* [Laurel 90][Laurel 92] sowie entsprechend den Leitsätzen für benutzerorientiertes und kognitiv effizientes Design [Norman 86] von Benutzungsschnittstellen zugänglich gemacht.

1.3 Gliederung der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in eine Darstellung von Information-Retrieval-Modellen und Modellen der Benutzung von Informationssystemen. Danach wird im dritten Kapitel der aktuelle Stand der Forschung zu graphischen Benutzungsschnittstellen auf der Basis interaktiver Informationsvisualisierungen anhand verwandter Arbeiten vorgestellt. Darauf

aufbauend werden weiterführende Anforderungen an interaktive Informationsvisualisierungskomponenten abgeleitet. Im anschließenden konzeptuellen Teil entwickelt die Arbeit im vierten Kapitel ein interaktives Informationsvisualisierungsmodell für einen visuell-direktmanipulativen Informationsdialog auf der Basis interaktiver Informationsvisualisierungskomponenten sowie der damit verbundenen Datenzugriffsprozesse, Datenverwaltungsprozesse, Informationsvisualisierungs- und Interaktionsinterpretationsprozesse. Im fünften Kapitel werden exemplarische Operationalisierungen von Informationsvisualisierungsfunktionen entworfen und bewertet. Die Realisierung, Integration und Bewertung der entworfenen Informationsvisualisierungsmodelle in Form einer konkreten Anwendungslösung wird im sechsten Kapitel vorgestellt. Dabei wird insbesondere die integrierte Unterstützung von Navigations-, Explorations-, Relevanzbewertungs- und Inspektionsaktivitäten dargestellt und bewertet. Eine Darstellung offener Probleme und ein Ausblick im gleichen Kapitel vervollständigen die Arbeit.

2 Basisfunktionalität von Informationssystemen - Stand der Forschung

Als Ausgangspunkt für die Problemanalyse und für die Entwicklung eines Lösungsansatzes wird im folgenden der Stand der Forschung im Bereich der grundlegenden Modelle für Datenbanksysteme und Information-Retrieval-Systeme untersucht. Auf der Grundlage der dargestellten Modelle, deren Funktionalität und deren Eigenschaften sowie deren Verwendung in visuellen Benutzungsschnittstellen zu Informationssystemen wird dann im weiteren Verlauf der Arbeit eine Anforderungsdefinition durchgeführt. Wir folgen bei unserer Darstellung noch der traditionellen Aufteilung der beiden Forschungsgebiete, obwohl gerade in jüngster Zeit Datenbank- und Information-Retrieval-Systeme sowie die zugrundeliegenden Repräsentations-, Funktions- und Systemmodelle stark konvergieren.

2.1 Datenmodelle und Datenbanksysteme

Oberflächlich betrachtet ist ein Datenbanksystem (DBS) ein System zur Beschreibung, Speicherung und Verwaltung von umfangreichen Datenmengen, die von mehreren Anwendungsprogrammen benutzt werden [Duden 88]. Alle Implementierungen von Informationssystemen in denen mehrere Endbenutzeranwendungen auf große Datenmengen zurückgreifen werden in der Regel immer auf mehr oder weniger umfangreichen Datenbanksystemen aufsetzen. Vom Standpunkt der Datenbankforschung und -technologie aus gesehen, könnte man berechtigterweise auch formulieren, daß generische Information-Retrieval-Funktionalitäten wie sie von endbenutzerorientierten Informationssystemen benötigt werden, bereits Bestandteil eines jeden Datenbanksystems sind. Innerhalb der Datenbanksysteme unterscheidet man weiterhin zwischen der Datenbank selbst und dem Datenbankmanagementsystem (DBMS) [Buchmann 93]. Bei einer Datenbank handelt es sich um eine Beschreibung eines Weltausschnitts durch diskrete Daten, die permanent gespeichert sind. Das Datenbankmanagementsystem hingegen ist ein Softwaresystem, das den Zugriff auf die Inhalte der Datenbank ermöglicht. Ein DBMS sorgt für die betriebssystemunabhängige Speicherung der Daten, gewährleistet Integrität und Konsistenz von Daten, sorgt für die korrekte Bearbeitung paralleler Transaktionen (Zugriffe auf die Datenbank) und ermöglicht das Stellen von Anfragen.

Aufgrund ihrer weiten Verbreitung haben die Datenbanksysteme, die auf der Basis relationaler Datenmodelle arbeiten, derzeit noch die größte Bedeutung. Im Verlauf der letzten zehn Jahre haben jedoch auch Datenbanksysteme, die auf der Grundlage des objektorientierten Paradigmas arbeiten, zunehmend an Bedeutung gewonnen.

Es lassen sich im wesentlichen zwei Gruppen von objektorientierten Datenbanksystemen unterscheiden. Dies sind einerseits Datenbanksysteme, die objektorientierte Programmiersprachen um Persistenzeigenschaften erweitern. Diese Systeme bauen auf dem bereits bestehenden Daten- und Programmiermodell einer objektorientierten Sprache auf und erweitern dieses um die Fähigkeit, Objekte über die Laufzeit eines Programmes hinaus anderen Programmen und Benutzern zugänglich zu machen. In diesem Bereich gibt es eine große Bandbreite, die von speziellen Dateisystemen für die Speicherung und Wiederherstellung von Objekten bis zu Systemen reicht, die Fähigkeiten wie Transaktionsmanagement und Data Recovery aufweisen. Beispiele hierfür sind die Systeme *ObjectStore* und *POET*, die jeweils die Programmiersprache C++ um Persistenzeigenschaften erweitern. Die zweite Kategorie objektorientierter Datenbanksysteme arbeitet mit einem vereinheitlichten Datenmodell, das unabhängig von einer objektorientierten Programmiersprache ist. Diese Systeme orientieren sich an den derzeitigen relationalen Datenbanken, die mit der nichtprozeduralen Abfragesprache SQL eine standardisierte Schnittstelle sowohl für den Benutzer als auch für den Entwickler liefern. Dementsprechend bieten die OODBS dieser Gruppe eine objektorientierte Erweiterung von SQL oder eine an SQL orientierte Abfragesprache für den Zugriff auf Daten an. Die zweite Gruppe kann man auch als die zweite Generation objektorientierter Datenbanksysteme ansehen, die als richtungsweisend für zukünftige Entwicklungen angesehen wird [Kim 95]. Beispiele hierfür sind die Systeme VODAK [IPSI 95] und Informix Illustra [Illustra 95].

Die im folgenden genannten Bestandteile einer Datenbank beziehen sich auf die zweite Gruppe von objektorientierten Datenbanksystemen. Das Datenmodell ist ein System von Konzepten zur abstrakten Darstellung eines Ausschnitts der realen Welt durch Daten, die in unterschiedliche Typen kategorisiert werden. Eine Modellierung eines Weltausschnitts mittels dieser Konzepte nennt man das Datenbankschema einer Anwendung. Es beschreibt die Struktur, in der in der Datenbank Informationen gespeichert werden. Die Entwicklungsumgebung des Datenbanksystems erlaubt es in der Regel, eine Beschreibung

eines Datenbankschemas in einer formalen Beschreibungssprache in eine interne Repräsentation des Schemas umzusetzen.

Zum Datenbankmanagementsystem (DBMS) zählen neben einer Laufzeitumgebung Komponenten wie Transaktionsmanager, Kommunikationsmanager, Objektmanager und Anfrageprozessoren. Relationale Datenmodelle beschreiben Daten und Beziehungen zwischen Daten mit der einheitlichen Datenstruktur der Tabelle (Relation). Auf diesen Relationen sind wenige einfache Operationen wie beispielsweise das Zusammenführen von Tabellen oder das Separieren von Informationen aus Tabellen definiert. Für das relationale Modell gibt es eine formale mathematische Grundlage und in der Folge einen anerkannten Standard, der Grundlage für Datenbanksysteme in diesem Bereich ist. Im Gegensatz dazu gibt es für objektorientierte Datenmodelle keinen einheitlichen Standard. In [Bertino & Lorenzo 93] nennen die Autoren jedoch einige grundlegende Konzepte objektorientierter Datenmodelle, die wir im folgenden zusammenfassend aufführen:

- **Objekte und Objektidentität:** Einheiten der realen Welt werden als Objekte modelliert. Jedes Objekt hat einen eindeutigen Bezeichner.
- **Komplexe Objekte:** Attribute von Objekten können komplexe Typen haben (Listen, Mengen) oder Verweise auf andere Objekte sein. So lassen sich komplexe Objektstrukturen erstellen.
- **Klassen:** Objekte mit gleichen Eigenschaften werden in Klassen zusammengefaßt.
- **Kapselung von Zustand und Verhalten:** Der Zustand von Objekten in der Datenbank wird über Methoden verändert. Methoden sind Prozeduren, die einem Objekt zugeordnet werden, indem sie beispielsweise mit dem Objekt oder mit der Klasse des Objektes gespeichert werden.
- **Vererbung:** Eine Klasse kann Eigenschaften einer anderen Klasse erben.
- **Objektorientierte Modellierung:** Bei der Modellierung werden Objekte und Konzepte der realen Welt auf das Datenbankschema abgebildet. Im Bereich der relationalen Datenbanken besonders verbreitet ist das Entity-Relationship-Modell [Chen 76]. Dieses unterscheidet zwischen Tabellen, die Objekte repräsentieren (*entities*) und Tabellen, die Beziehungen zwischen Objekten modellieren (*relationships*). Da dieses Modell auf dem einheitlichen relationalen Modell aufbaut, konnte es sich als Standardentwurfsmethodik durchsetzen. Im Gegensatz dazu gibt es keine Entwurfsmethodik, die den gesamten Bereich der objektorientierten Datenbanken

abdeckt. Dennoch lassen sich einige Grundprinzipien der objektorientierten Modellierung nennen [Buchmann 93]:

- Klassifikation: Es wird zwischen dem Typ und dem Wert eines Objektes unterschieden; ein Objekttyp beschreibt Eigenschaften (Struktur und Verhalten) einer Menge gleichartiger Objekte.
- Aggregation: Neue, komplexe Objekttypen werden aus elementaren Datentypen und anderen Objekttypen zusammengesetzt.
- Assoziation: Objekte eines Typs haben Beziehungen zu Objekten eines anderen Objekttyps.
- Spezialisierung/Generalisierung: In einer Generalisierungshierarchie von Objekttypen erben Objekte Eigenschaften von allgemeineren Objekten.

Wie diese Prinzipien in Repräsentationen und Implementierungen umgesetzt werden, hängt vom konkreten Datenmodell des verwendeten Datenbanksystems ab. Bei umfangreichen Systemen ist eine iterative Entwurfsmethode sinnvoll, die ausgehend von einem hohen Abstraktionsniveau erlaubt, ein System durch schrittweise Verfeinerung zu entwickeln. Die Methode der objektorientierten Analyse nach [Coad & Yourdon 90] beispielsweise sieht für den Grobentwurf des Systems drei Abstraktionsebenen, für den Feinentwurf zwei weitere Hierarchieebenen vor.

2.2 Information-Retrieval-Systeme

Ein Information-Retrieval-System extrahiert für eine Problemstellung relevante, d.h. aus Sicht der Benutzer und ihre Anwendungsaufgabe informationstragende Daten aus einer großen Datenmenge. Im folgenden wird eine große Datenmenge als Datenbank bezeichnet. Eine Datenbank besteht in der Regel aus zu Dokumenten zusammengefaßten Untermengen des gesamten Datenbestandes. Spricht man von *Information Retrieval*, so ist die automatische Extraktion einer Daten- oder Dokumentmenge gemeint, die bezüglich eines informationellen Benutzerinteresses bedeutungstragend ist. Ein derartiges Informationsbedürfnis wird vom Benutzer innerhalb von mindestens einer *Anfrage* gegenüber dem System formuliert. Das Information-Retrieval-System reagiert durch Präsentation einer für das Benutzerinteresse möglichst relevanten Dokumentmenge. Im einfachsten Ansatz würde ein Information-Retrieval-System, welches auf jede Anfrage immer alle Dokumente der Datenbank als Ergebnismenge präsentiert, immer auch das Benutzerinteresse erfüllen, solange überhaupt relevante Dokumente in der Datenbank

existieren. Zur Effektivität eines Information-Retrieval-Systems gehört demzufolge nicht nur das gesicherte Finden der relevanten Information, sondern auch das gesicherte Ausblenden der nicht relevanten Information. Als klassische numerische Maße für diese Effektivität werden im Information Retrieval *Precision* und *Recall* verwendet [Salton88]. Dabei definiert sich die Precision eines Information-Retrieval-Systems als das Verhältnis zwischen der Gesamtzahl der auf eine Anfrage vom System als relevant präsentierten Dokumente und der Anzahl der tatsächlich relevanten Dokumente innerhalb dieser Ergebnismenge. Der Recall eines Information-Retrieval-Systems definiert sich über das Verhältnis der Gesamtzahl aller für eine Anfrage relevanten Dokumente der Dokumentmenge und der Anzahl der vom System im Anfrageergebnis präsentierten relevanten Dokumente. Beide Bewertungskriterien sind jedoch wegen der Problematik einer objektiven Relevanzbewertung der Dokumente der Datenbank schlecht operationalisierbar. Ihre Verwendung als alleinige Maße ist darüber hinaus in der Literatur über lange Zeit stark umstritten diskutiert worden. Mittlerweile werden Precision und Recall als zwei suchtechnisch motivierte Bewertungsdimensionen innerhalb eines ganzen Spektrums von zwischenzeitlich ergänzend definierten technischen und benutzerorientierten Evaluationskriterien [Tague 87][Tague & Schultz, 88][Tague & Schultz 89][Tague-Sutcliffe 92a][Tague-Sutcliffe 92b] für Information-Retrieval-Systeme geführt. Die beiden Maße verdeutlichen jedoch nach wie vor sehr gut den Konflikt zwischen Ergebnismengen mit vielen nicht relevanten Dokumenten und Ergebnismengen, in denen viele relevante Dokumente fehlen.

Die Systemkomponenten eines Information-Retrieval-Systems sind nach [Brown 94] die Dokumentrepräsentationskomponente mit einer formalen Beschreibung der im jeweiligen Dokument enthaltenen Information, die Anfragerepräsentationskomponente, welche die formale Beschreibung des Informationsbedürfnisses unterstützt, sowie eine sogenannte *Retrieval Engine*, eine Suchkomponente mittels derer nach bestimmten Regeln, automatisch mit Hilfe von algorithmischen Pattern-Matching-Prozeduren, diejenigen Dokumente gefunden werden, die für die Anfrage des Benutzers relevant sind. Die Effizienz eines Information-Retrieval-Systems hängt daher nicht zuletzt davon ab, in welchem Maße es überhaupt eine Zuordnung zwischen den gespeicherten Dokumentrepräsentationen und der jeweiligen Anfragerepräsentation ermöglicht [Callan et al. 94]. Diese Aussage hat darüber hinaus sowohl für die Effizienz der Information-Retrieval-Engine selbst als auch für die Effizienz der Benutzungsschnittstelle eines

Informationssystems Gültigkeit. Im folgenden wenden wir uns den formalen Modellen zu, die in der Regel den unterschiedlichen Realisierungen der verschiedenen Komponenten als gemeinsames Beschreibungsmittel zugrunde liegen. Innerhalb des Forschungsbereiches Information-Retrieval wurden verschiedene derartige Modelle entwickelt. Diese unterscheiden sich unter anderem dadurch, ob sie Dokumente nach dem Ansatz des *Exact Match*, also der genauen Übereinstimmung oder nach dem Prinzip *Best Match*, also der bestmöglichen Übereinstimmung als relevant selektieren. Die bekanntesten Vertreter sind für die erste Methode das boole'sche Information-Retrieval-Modell, für die letztere das Vektorraum- sowie das probabilistische Information-Retrieval-Modell. Zwischen den genannten Modellen existieren jedoch auch eine Reihe von Mischformen [Turtle & Croft 91a].

2.2.1 Exact-Match-Modelle

Das sogenannte *boole'sche Information-Retrieval* ist das älteste und am weitesten verbreitete Information-Retrieval-Modell [Belkin & Croft 92]. Es basiert auf exakter Erfüllung einer Anfrage durch ein Dokument. Anfragen werden mit Hilfe der Standardoperatoren boole'sche Logik formuliert [Salton & McGill 83]. Spezifikationen der Suchanfrage werden mit den Inhaltsrepräsentationen der Datenbasis verglichen und nur jene Dokumente bzw. deren Stellvertreter als Treffer präsentiert, welche diesen Spezifikationen genau entsprechen. Eine darüber hinausgehende Quantifizierung der Relevanzwerte der einzelnen Dokumente der Ergebnismenge wird nicht durchgeführt. Die Datenbasis wird bezüglich einer Anfrage in zwei Untermengen unterteilt: in die Menge der als voll zutreffend zugelassenen und in die Menge der als nicht zutreffend verworfenen Dokumente. Eine Anfrage besteht dabei aus sogenannten *Termen* (im Text-Retrieval sind dies in der Regel Anagramme, Suchworte, Phrasen oder wiederum Dokumentfragmente anderer Granularität), die durch boole'sche Operatoren verknüpft werden. Ein Dokument erfüllt die Anfrage, wenn es die Terme in der geforderten prädikatenlogischen Konstellation enthält. Gehen wir zum Beispiel von den Operatoren *AND*, *OR* und *NOT* aus, und nehmen an, daß *a*, *b*, *g* und *d* Terme sind. Die Anfrage $AND(a OR (b \ g) NOT(d))$ wird von allen Dokumenten erfüllt, die *a* enthalten und *b* oder *g* enthalten und *d* nicht enthalten. Eine Unterscheidung der Dokumente in der Ergebnismenge findet nicht statt, d.h. es wird keinerlei *Unschärfe* der Beschreibung bei der Relevanzbewertung der Dokumente innerhalb oder außerhalb der Ergebnismenge berücksichtigt. Das führt dann

beispielsweise dazu, daß für die Benutzer nicht mehr zu erkennen ist, ob ein Dokument außerhalb der Ergebnismenge nur einen Term oder alle Terme nicht erfüllt. Aufgrund der Analogien zu Mengen und ihren Operatoren können boole'sche Anfragen als Mengenoperationen auf Termmengen angesehen werden [Bookstein 81].

In einem boole'schen System wird jedes Dokument durch einen Satz von inhaltlichen Indizes repräsentiert, der sich aus Termen des für die Indexierung gewählten Vokabulars zusammensetzt. In der Regel erfolgt auch die Indexierung ungewichtet, d.h. ein Term wird entweder als in einem Dokument vorhanden oder nicht vorhanden vermerkt. Normalerweise sind die Indizes von häufig vorkommenden Stopwörtern bereinigt. Haben Benutzer eine Anfrage eingegeben, wird sie mit den Repräsentationen der Dokumente in der Datenbasis verglichen und die berechnete Ergebnismenge wird präsentiert. Dieser Prozeß kann auch wiederholt unter Veränderung der Anfrage ablaufen [Lancaster 79]. Häufig wird die Formulierung der Anfrage durch funktionale Erweiterungen der Anfragesprache wie etwa die Ausweitung der Anfrage durch Suchterm-Trunkierung oder Einführung von Bereichs- oder Größenoperatoren unterstützt. Nicht selten ist auch eine Erweiterung oder Einengung der Suche durch die Möglichkeit der Einbindung eines Thesaurus oder strukturierten Wörterbuches [van Rijsbergen 79] sowie durch zusätzliche Operatoren oder Makro-Operatoren, wie z.B. $XOR(a, b)$, das ja bekanntermaßen eine Vereinfachung von $OR(AND(a, NOT(b)) AND(NOT(a), b))$ darstellt.

Trotz seiner weiten Verbreitung besitzt dieses Information-Retrieval-Modell einige bedeutsame Nachteile [Agosti et al. 91], die sich in größeren Datenbasen, sowie bei steigenden Benutzeransprüchen und sinkenden Benutzerkenntnissen bemerkbar machen. Boole'sche Systeme bieten Benutzern, die sich mit den verwendeten Indexierungstermen auskennen bzw. die bereits früher im gleichen Sachgebiet recherchiert haben, ein effektives Retrieval. Die Effizienz sinkt jedoch rapide mit dem steigenden Maß der Unvertrautheit des Benutzers mit einem Sachgebiet [Williams 71]. Das Modell erweist sich darüber hinaus hinsichtlich der Information-Retrieval-Effizienz in bestimmten Fällen anderen Systemen unterlegen [Salton & McGill 83]. Nachteilig wirkt sich beispielsweise die „Alles-oder-Nichts-Eigenschaft“ der boole'schen Suche aus, da sich die maximale Anzahl der als relevant angezeigten Dokumente nicht je nach Menge des insgesamt vorhandenen Materials variieren läßt. So kann diese fehlende Kontrolle über die maximale Größe des Ergebnisses dazu führen, daß bei einer zu allgemeinen Suchformulierung eine zu große Menge von Dokumenten aus einer entsprechend großen Datenbasis als für die

Suchanfrage zutreffend herausgefunden werden [Godin et al. 89][Spoerri 93]. In solchen Fällen muß über Umformulierungen und weitere Einschränkungen die Suche eingegrenzt werden. Schwierig hierbei ist es insbesondere für sogenannte *naive Benutzer*, also Benutzer ohne Expertise bezüglich der Anwendung und Steuerung des Systems, die Auswirkungen der logischen Operatoren in allen Konsequenzen zu verstehen.

Die einfachste Klasse boole'scher Anfragen besteht aus einem einzigen Suchterm. Eine solche Anfrage ist wahr für Dokumente, die mit diesem Term indexiert wurden. Aus einer abstrahierenden Sicht gesehen besteht in diesem Fall zwischen der Anfrage und dem Ergebnis eine ungewichtete und ungeordnete 1:N-Relation, die von den Benutzern kognitiv zu erfassen ist. Komplexere boole'sche Anfragen entstehen durch die Kombination mehrerer Terme mittels der oben genannten Operatoren deren Wahrheitsgehalt kombiniert überprüft wird. In diesem Fall stehen Anfrage und Ergebnis also in einer ungewichteten und ungeordneten M:N-Beziehung. Im boole'schen Modell wird implizit von Annahme ausgegangen, daß die Benutzer in der Lage sind, ihr Informationsbedürfnis vollständig und präzise als logischen Ausdruck, der kompatibel zur Indexierungspraxis des Systems ist, zu formulieren [Bookstein 78]. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, daß die Benutzer die MxN-Relation zwischen den Komponenten einer komplexen Anfrage und denen einer Ergebnismenge erfassen und verstehen können. Dies ist bei naiven Benutzern jedoch nicht unbedingt der Fall. Eine gewisse Vertrautheit mit dem Vokabular der in der Datenbasis gespeicherten Dokumente ist zudem unverzichtbar, da eine sehr exakte Formulierung der Anfrage unter Einbeziehung möglicher Synonyme oder Wortstämme über Erfolg oder Mißerfolg entscheiden kann [Salton 87]. Eine Vertrautheit mit dem Vokabular ist besonders wichtig, wenn z.B. in Volltextdatenbanken ein komplexer Sachverhalt auf einige wenige Suchwörter abgebildet werden muß. Insbesondere [Korfhage 91] führt als Kritikpunkt hierzu an, es sei unlogisch, ein Dokument in boole'schen Termen zu beschreiben, wenn das Dokument selbst nicht in dieser Sprache abgefaßt sei.

Ein weiterer Nachteil ist die Unmöglichkeit, nur partiell relevante Dokumente aufzufinden. Dieser läßt sich nur über nacheinander eingegebene verschachtelte Anfragen umgehen. Jede neue Formulierung teilt wiederum die Menge der Dokumente in eine Untermenge, auf welche die Suchbedingung zutrifft und in eine Untermenge, für die das nicht der Fall ist. Da zudem jeder der Komponenten der Suche das gleiche Gewicht zugemessen wird, ist die Ausgabe der aufgefundenen Dokumente in Form einer geordneten Liste, welche die zutreffendsten Dokumenten an oberster Stelle präsentiert, nicht möglich. Einige neuere

Systeme versuchen dem Abhilfe zu schaffen, indem bestimmten Termen der Suchanfrage Gewichte zugeordnet werden können, anhand derer die Ergebnisse geordnet und in der Reihenfolge ihrer Relevanz ausgegeben werden [Salton & McGill 83]. In diesen sogenannten "Extended Boolean Retrieval"-Systemen bilden *geordnete $1 \times N$ - bzw. $M \times N$ -Relationen* die Grundlage der Beziehung zwischen Anfrage und Ergebnis. Es gab auch Versuche, die Ergebnisse einer boole'schen Anfrage anhand des Überschneidungsgrades zwischen Dokumentinhalt und den Termen der Suchformulierung einem Gewichtungsprozeß zu unterwerfen. In solchen Systemen werden die Dokumente erst nach boole'schen Kriterien extrahiert und dann in einem zweiten Durchlauf gewichtet.

2.2.2 Best-Match-Modelle

Bei den auf bestmöglicher Erfüllung beruhenden Modellen werden die Vektorraum-, die Wahrscheinlichkeitstheorie und die Theorie der Fuzzy-Logik bemüht, um ein Modell zu entwickeln, welches die Nachteile des boole'schen Information-Retrieval-Modells vermeidet. Hierbei sind zwar die Information-Retrieval-Funktionen und die Anfrageformulierungen die gleichen wie beim herkömmlichen boole'schen Retrieval, jedoch werden auch gewichtete Dokumentbeschreibungen und Anfrageformulierungen zugelassen. Dahinter steht der Gedanke, daß es tatsächlich häufig schwierig ist, zu entscheiden, ob ein Dokument mit einem bestimmten Term indexiert werden sollte oder nicht.

Der Indexierer muß bei Implementierungen des Best-Match-Modelles nach einem auf Fuzzy-Logik basierenden Algorithmus entscheiden, inwieweit ein Term ein Dokument charakterisiert und dies durch einen Wert zwischen 0 und 1 ausdrücken. Zentrale Frage dieses Modells ist also die Bewertung der Relevanz, die ein Term für ein Dokument hat. Mittels einer solchen Information-Retrieval-Funktion kann für jedes Dokument ein separater Wert berechnet und eine Rangordnung der Ausgabedokumente erstellt werden. Dieser Vorteil wird jedoch dadurch relativiert, daß viele Nachteile des boole'schen Information-Retrievals beibehalten werden, bei dem eine Gewichtung der Terme nicht vorgesehen ist. Nach wie vor ist die Formulierung der Anfrage für den naiven Benutzer schwierig. Weiterhin ist es nachteilig, daß die Termgewichte willkürlich zugeordnet werden und somit abhängig von der subjektiven Einstufung eines Indexierers sind - was um so schwerer ins Gewicht fällt, als sie nicht dynamisch veränderbar sind [Fuhr 91]. Im Best-Match-Retrieval wird die Forderung nach exakter Erfüllung der Anfrage aufgegeben

und dafür eine Sortierung der Dokumente nach dem Grad ihrer Erfüllung der Anfrage eingeführt. Durch die Beispielanfrage $AND (a OR (b \text{ } g) NOT (d))$ könnte durchaus ein Dokument gefunden werden, in dem der Term d , trotz der Forderung $NOT(d)$, vorkommt. Dies ist sinnvoll, wenn d als wenig relevant eingestuft und der Rest der Anfrage mit hoher Übereinstimmung erfüllt wird.

(1) Ranking-Modelle

Bei den Modellen, die sich unter dem Stichwort "Best-Match" einordnen lassen, wird im Gegensatz zum boole'schen Modell nicht länger gefordert, daß die Spezifikationen einer Anfrage exakt erfüllt werden, sondern es wird eine geordnete Auswahl von Dokumenten aus der Datenbasis berechnet, wobei die Ergebnisdokumente in der Reihenfolge präsentiert werden, in der sie als für die Anfrage relevant berechnet wurden. Die derart geordneten Dokumente können dabei auf zwei Arten geordnet werden: beim sogenannten *Weak Ordering* können zwei Dokumente den gleichen Wert bzw. Rang einnehmen, beim sogenannten *Linear Ordering* müssen Unterschiede vorhanden sein [Raghavan et al. 89] - üblich ist das Weak Ordering [Cooper 73b].

Ein typisches Maß für Ähnlichkeit ist die Anzahl der sowohl in der Anfrage als auch im jeweiligen Dokument vorkommenden Terme [Ashford & Willett 88]. Bei einem so implementierten System ist das Ergebnis eine geordnete Liste, in der diejenigen Dokumente, welche die meisten Terme mit der Anfrage gemeinsam haben, an erster Stelle stehen und so dem Benutzer als erste präsentiert werden. Je nach Ansatz wird dabei gegebenenfalls noch eine Gewichtung der indizierten Terme berücksichtigt. Diese Gewichtung erfolgt in vielen Fällen anhand von statistischen Häufigkeitswerten und beruht beispielsweise darauf, wie oft ein Term in der gesamten Datenbasis vorkommt, möglicherweise im Verhältnis zu allen dort gespeicherten Termen [van Rijsbergen 79] [Salton & McGill 83][Turtle & Croft 91a]. Es handelt sich dabei z.B. um die inverse Dokumenthäufigkeit. Ein hoher Wert ergibt sich daraus, daß ein Term sehr oft in einem Dokument, jedoch eher selten in der Datenbasis vorkommt. Ein weiteres Beispiel ist der Term-Diskriminationswert. Dieser ist ein Maß für die Eigenschaft eines Terms, ein Dokument von anderen unterscheidbar zu machen. Je seltener also ein Term in der Datenbasis vorkommt, um so höher wird dieser Wert liegen [Salton & Wu 81]. Die Implementation eines solchen Algorithmus setzt voraus, daß die Größe der Dokumentensammlung sowie die Anzahl der Dokumente, die von jedem Term indexiert

werden, bekannt ist [Morissey 82]. Gerade in einer interaktiven Umgebung, in der die zuvor gefundenen Objekte häufig der Umformulierung der ursprünglichen Anfrage dienen, ist es besonders wichtig, mit Hilfe von Ranking-Verfahren Unterscheidungen zwischen den aufgefundenen Objekten zu treffen. Falls die Anfrageformulierung stark bedeutungstragende Begriffe enthält, ist die Wahrscheinlichkeit recht hoch, daß an oberster Stelle der Ergebnisliste Dokumente hoher Relevanz stehen. Vorteil dieser Methode ist, daß die Suche mit einer ungeordneten Liste von Schlüsselwörtern durchgeführt werden kann. Es ist nicht nötig, boole'sche Operatoren gezielt anzuwenden oder über die logischen Konsequenzen von Formulierungen nachzudenken. Auch die Kontrolle der Größe des Ergebnisses stellt kein Problem dar, da es den Benutzern freigestellt ist, wie viele der gefundenen Dokumente sie sich anzeigen lassen wollen. Es ist außerdem nicht länger erforderlich, alle Dokumente mit allen angeführten Kriterien anzuzeigen, denn es kann ein Schwellwert festgelegt werden [Salton & Wu 81].

In einigen Systemen, die das Retrieval auf diese Art und Weise durchführen, wird auch eine boole'sche Suchmethode angeboten, um geübten Benutzern die Formulierung logischer und präziser, eventuell mehrfach verschachtelter Anfragen zu ermöglichen [Turtle & Croft 91a][Brown 94]. Zusätzlich können Rückkopplungsmechanismen realisiert sein, die bei einem zweiten Suchlauf auf der Grundlage von Relevanzbewertungen des Benutzers zu den Trefferdokumenten die Termgewichte der Anfrage neu berechnen und so zu einem veränderten Ergebnis führen. In Versuchen hat sich gezeigt, daß die Einbeziehung zusätzlicher Suchterme anhand ihres Vorkommens in bereits als relevant beurteilten Dokumenten zu einer Verbesserung der Information-Retrieval-Ergebnisse führt. Bei diesem Verfahren erwies sich die Gewichtung nach Relevanz derjenigen überlegen, die lediglich anhand statistischer Gesichtspunkte wie der Vorkommenshäufigkeit des entsprechenden Terms in der Dokumentensammlung vollzogen wurde. Diese war jedoch wiederum der gänzlich ungewichteten Suche überlegen. Die Anzahl und Qualität der nach Relevanz gewichteten Suchterme hatte einen deutlichen Einfluß auf die Systemperformanz [Sparck Jones 79].

(2) Vektorraum-Modelle

Auf der Grundlage des Best-Match-Ansatzes wurden einige weitere Modelle entwickelt. Als Überbegriffe sind hier die Modelle des Vektorraum- und des probabilistischen Information-Retrieval zu nennen. Vektorbasierte Modelle sind im Bereich des Best-Match-

Retrieval weit verbreitet. Grundlage dieses Modells ist die Idee, daß ein Dokument als Vektor in einem mathematischen Raum, dem sogenannten *Inhaltsraum* der Dokumentmenge, aufgefaßt werden kann. Die inhaltliche Verwandtschaft von Dokumenten untereinander oder bezüglich einer Anfrage kann durch den numerischen *Abstand* von Vektoren zum Ausdruck gebracht werden. Zentrale Eigenschaft dieses Modells ist die Berücksichtigung der Relevanz eines Begriffes bezüglich eines Dokumentes und der Relevanz eines Suchbegriffs bezüglich der Anfrage. Dem Vektorraummodell liegt die Annahme zugrunde, daß ein *sogenannter euklidischer Begriffsraum* existiert, in dem die Inhalte von Dokumenten und Anfragen als einzelne Punkte lokalisiert sind. Das System antwortet auf eine Anfrage, indem es die Dokumente präsentiert, die räumliche Nähe zur Anfrage aufweisen. Eine Möglichkeit der Implementation solcher Systeme ist die Repräsentation eines jeden Dokumentes und jeder Anfrage durch einen Indexvektor, der jeweils die Dokumentterme mit dem ihnen zugemessenen Gewicht enthält. Verschiedene Entfernungsberechnungen sind möglich, wobei häufig das sogenannte *Kosinus-Maß* [Salton & McGill 83][Salton & Buckley, 88b] verwendet wird. Ein Vorteil dieser Entfernungsberechnung ist, daß die gewonnenen Werte gleichzeitig für ein gewichtetes Ranking herangezogen werden können. Hierbei wird von der Annahme ausgegangen, daß das dem Anfragevektor räumlich am nächsten stehende Dokument zugleich das relevanteste für die jeweilige Anfrage ist. Diese Systemeigenschaft, die für den Benutzer eine Hilfe bei der Beurteilung der gefundenen Dokumente darstellt, kann auch in Systemen eingesetzt werden, die auf dem Boole'schen Information-Retrieval-Modell aufbauen [Bookstein 78]. Um den Dokumentenraum tatsächlich räumlich interpretieren zu können, wird er als orthogonal angenommen, d.h., alle Termvektoren werden als linear unabhängig betrachtet und sind normiert [Fuhr 91]. Für den Benutzer ist der vieldimensionale Raum, der von den Dokumenttermen aufgespannt wird, jedoch nur schwer vorstellbar [Korfhage 91]. Ein Vektorenvergleichssystem führt Vergleiche zwischen Anfrage- und Dokumentvektoren durch und präsentiert ein geordnetes Ergebnis in absteigender Reihenfolge der berechneten Ähnlichkeitswerte. Dies bietet nicht nur die Möglichkeit einer Kontrolle der Ergebnisgröße, sondern es werden auf diese Weise auch iterative Maßnahmen der Anfrageverfeinerung ermöglicht.

Für die Generierung der Vektoren stehen mehrere Möglichkeiten zur Auswahl [Salton & Buckley 88a]. So kann zum einen lediglich auf binäre Art und Weise entschieden werden,

ob ein Term in einem Dokument vorkommt oder nicht. Nach dieser Methode besitzen alle Vektoren einer Datenbasis die gleiche Dimensionalität und es wird lediglich vermerkt, ob ein Term in einem Dokument vorhanden ist oder nicht. Die Alternative besteht in der Berechnung von Termgewichten. In der einfachsten Form wäre dies eine Zählung der Vorkommenshäufigkeit der einzelnen Terme im jeweiligen Dokument. Auf der Vorkommenshäufigkeit der einzelnen Terme beruhen auch ausgefeiltere Berechnungen von Termgewichten, die im einfachsten Fall lediglich eine Normalisierung der Werte des oben beschriebenen Vektors erbringen, meist jedoch auf komplexeren Algorithmen beruhen und beispielsweise die Vorkommenshäufigkeit eines Terms in der gesamten Datenbasis mit einbeziehen. Je näher in einem solchen Fall das Gewicht des Terms bei 1 liegt, desto bedeutungsschwerer ist er [Salton & Buckley, 88b]. Aufgrund der räumlichen Interpretation der Dokumentrepräsentation als Vektoren können als Information-Retrieval-Funktion Ähnlichkeitsberechnungen zwischen Dokument- und Anfragevektoren vorgenommen werden. [Noreault et al. 81] nennen 67 verschiedene Ähnlichkeitsmaße, die zur Berechnung der Anfrage-Dokument-Ähnlichkeit in der Literatur vorgeschlagen wurden.

Vorteilhaft erweist sich die Einfachheit der Anfrageformulierung, bei der selbst eine einfache Aneinanderreihung von Termen zu Ergebnissen führt. Als problematisch beurteilt wird dagegen die Gleichbehandlung aller Texte ohne Abklärung der Frage, inwieweit beispielsweise das Gewicht eines Terms in einem Referat zu einem bestimmten Thema anders bestimmt werden sollte als dasjenige des gleichen Terms in einem längeren Volltext. Eine nachträgliche Umgewichtung ist kaum möglich, was ebenfalls einen Nachteil darstellt [Fuhr 91]. Darüber hinaus kann es vorkommen, daß zwei völlig verschiedene Dokumente, die zufällig die gleiche Entfernung zur Anfrage aufweisen, den gleichen Rang haben, obwohl sie im Dokumentenraum völlig unterschiedliche Positionen einnehmen [Korfhage 91]. Häufig eingesetzt werden vektorbasierte Modelle bei der sogenannten *Clustering-Methode* [Salton & McGill 83]. Diese unterscheidet sich von anderen Information-Retrieval-Modellen vornehmlich dadurch, daß sie nicht mit expliziten Anfrageformulierungen arbeitet, sondern hauptsächlich die Ähnlichkeit von Dokumenten ausgenutzt wird, um von einem als relevant bewerteten Dokument zu weiteren potentiell relevanten zu gelangen. Hierzu müssen allerdings bereits vor der Suche Cluster von Dokumenten identifiziert worden sein. Die Clustering-Theorie basiert auf der zuerst von C.J. van Rijsbergen [van Rijsbergen 79] aufgestellten und später experimentell erhärteten

Hypothese, daß die für eine Anfrage relevanten Dokumente miteinander mehr Ähnlichkeit aufweisen als mit nicht relevanten Dokumenten. Für das Retrieval bedeutet dies, daß einander ähnliche Dokumente mit großer Wahrscheinlichkeit für dieselbe Anfrage relevant sind und daß nach dem Auffinden eines relevanten Dokumentes ähnliche Dokumente gesucht und so weitere Treffer erzielt werden können. Im Sinne des Vektorraummodells läßt sich hierbei *Ähnlichkeit* als *räumliche Nähe* interpretieren und mittels der Dokumentenvektoren berechnen und numerisch ausdrücken.

(3) Clustering-Modelle

Um diese Art des Information-Retrievals zu verwirklichen, wird ein System aus Häufungen von Dokumenten zu sogenannten *Clustern* ähnlichen Inhalts erzeugt. Maße für die Berechnung der Ähnlichkeit von Dokumenten werden verwendet (z.B. Skalarprodukt, Kosinus-Maß) und anhand dieser werden die *Abstände* einzelner Dokumente voneinander quantifiziert. Auch Vergleichsfunktionen werden hierzu herangezogen. Vorbedingungen dieses Modells sind also die Festlegung eines Ähnlichkeitsmaßes (z.B. Skalarprodukt, Kosinus-Maß), die Berechnung einer Ähnlichkeitsmatrix für alle möglichen Dokumentenpaare, die Berechnung der Cluster, z.B. durch Anwendung eines Schwellenwertes auf die errechneten Ähnlichkeiten sowie eine möglichst gemeinsame physische Abspeicherung der Dokumente eines Clusters zur Minimierung der notwendigen Ein-/Ausgabe-Operationen. Praktisch sieht es so aus, daß hinsichtlich einer bestimmten Anfrage für jedes Dokument der Ähnlichkeitskoeffizient berechnet wird. Auf der Basis dieser Werte wird die Menge der auszugebenden Dokumente bestimmt, indem entweder ein vordefinierter Schwellenwert angewendet wird, oder indem die Dokumente in einer Rangliste angeordnet und ab einer bestimmten Position verworfen werden. Da sich die Berechnung der einzelnen Werte je nach Größe der Datenbasis bei der Verwendung von Vektoren recht aufwendig gestalten kann, können unter Umständen durch ein mehrstufiges Clustern der Datenbasis Vorteile erzielt werden. Für jedes Cluster wird hierbei z.B. ein Repräsentant bestimmt, der dann mit der Suchfrage verglichen wird. Lediglich in Clustern mit einer guten Übereinstimmung wird dann auf der Dokumentenebene bzw. eine Ebene tiefer weitergesucht, falls auch die Repräsentanten nochmals geclustert sind.

Zur Auswahl des Cluster-Repräsentanten stehen wiederum mehrere Möglichkeiten zur Auswahl. Eine davon ist das Heranziehen eines möglichst repräsentativen Dokumentes aus dem Cluster. Gewöhnlich ist dies das maximal verknüpfte Dokument, d.h., das Dokument,

das innerhalb der Indextabelle mit einer maximalen Anzahl anderer Dokumente des Clusters, z.B. durch die Verwendung der gleichen Terme, verknüpft ist. Hierfür kann es mehrere Kandidaten geben. In diesen Fällen wird entweder eine willkürliche Auswahl getroffen oder mehrere Repräsentanten bereitgestellt. Eine andere Möglichkeit ist die Berechnung von Durchschnittswerten aus den Dokumentbeschreibungen eines Clusters. So ist es möglich, den maximal wahrscheinlichsten Vektor eines Clusters zu berechnen. Hierzu werden die Dokumente als binäre Vektoren aufgefaßt und für jede Komponente die Durchschnittswahrscheinlichkeit ihrer Werte berechnet. Wiederum wird ein künstlicher Vektor aus den wahrscheinlichsten Werten gebildet, der beim Retrieval das Cluster repräsentiert. Dieser Vertreter des Clusters - der sogenannte *Zentroid* - wird mit den Zentroiden aller anderen Cluster zusammen abgespeichert. Beim Retrieval wird der Zentroid mit dem höchsten Information-Retrieval-Gewicht bestimmt und eine Gewichtung der im entsprechenden Cluster enthaltenen Dokumente vorgenommen. Bei dieser Art des Information-Retrievals ist auch ein sogenannter *Bottom-up*-Ansatz denkbar, bei dem über ein bereits bekanntes Dokument nach ähnlichen Dokumenten gesucht wird.

Positiv ist bei der Clustering-Methode neben dem verhältnismäßig geringen Ein-/Ausgabe-Aufwand auch die Tatsache, daß die Dokumente einer Datenbasis nicht als voneinander unabhängige Einheiten aufgefaßt werden. Experimentelle Untersuchungen deuten allerdings bisher eine verhältnismäßig geringe Information-Retrieval-Genauigkeit an [Fuhr 91]. Negativ schlägt der hohe Rechenaufwand zu Buche, der gerade bei größeren Dokumentsammlungen ein Cluster-basiertes System rasch an seine Grenzen stoßen läßt. *Grolier's Enzyklopädie* umfaßt beispielsweise ca. 30 000 Einträge. Um alle Dokumente miteinander zu vergleichen, sind nahezu 450 Millionen Vergleiche zwischen Vektoren erforderlich und jeder dieser Vektoren enthält - entsprechend dem Wortschatz der Enzyklopädie - 100 000 Elemente. Die Anzahl der Dokumente in der Sammlung und die Anzahl der Vergleichsmöglichkeiten stehen in einem quadratischen Verhältnis zueinander: wird die Anzahl der Dokumente in der Sammlung verdoppelt, so vervierfacht sich die Anzahl der Vergleiche zwischen ihnen [Clarkson 93].

(4) Probabilistische Modelle

Bezüglich der Erfassung des Inhaltes eines Dokumentes und der Erfassung des Benutzerinteresses durch eine Anfrage besteht Unsicherheit. Das sogenannte *probabilistische* Information-Retrieval-Modell versucht dem Rechnung zu tragen, indem

mit Mitteln der Wahrscheinlichkeitsrechnung abgeschätzt wird, wie gut ein Dokument das Benutzerinteresse erfüllt. Statistische Verteilungen und Vorkommenshäufigkeiten von Begriffen spielen dabei eine wichtige Rolle. Damit unterscheidet sich der probabilistische Ansatz grundlegend vom boole'schen Modell. Zwar werden die Dokumente nach wie vor als Datensätze verwaltet und in der Mehrzahl der Fälle über Indexterme gesucht, es werden jedoch weitere Merkmale der Dokumente für das Retrieval genutzt [Belkin & Croft 92]. In vielen Fällen handelt es sich hierbei um statistische Eigenschaften, z.B. um die Vorkommenshäufigkeit bestimmter Worte im Dokument, die in ähnlicher Weise wie bei den gewichteten Vektoren des Vektorraummodells ermittelt werden. In probabilistischen Modell wird jedoch angenommen, daß sowohl in den Repräsentationen der Anfrage als auch der Dokumente Unsicherheiten liegen, die sich auf die zwischen ihnen bestehende Relevanzbeziehung auswirken und deren Berechnung ungenau werden lassen. Die Funktion der Information-Retrieval-Engine wird daher beim probabilistischen Ansatz darin gesehen, die Texte in der Datenbasis in eine Ordnung zu bringen, die den Grad der Wahrscheinlichkeit widerspiegelt, daß ein Dokument für eine Suchanfrage relevant ist. Dem Benutzer wird nicht nur Information hinsichtlich der Relevanzwahrscheinlichkeit angeboten, sondern ihm wird auch die Möglichkeit gegeben, durch interaktives Handeln diese Wahrscheinlichkeiten in seinem Sinne zu manipulieren [Williams 71].

Maron, der den probabilistischen Ansatz grundlegend mit entwickelt hat [Maron & Kuhns 60], interpretiert Relevanz als eine zweiseitige Beziehung [Maron 82] zwischen einem Dokument und dem Informationssuchenden. Das Problem, wie groß die Wahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Dokument ist, als relevant beurteilt zu werden, kann von beiden Seiten angegangen werden: entweder wird aufgrund vergangener Erfahrungen, z.B. per Benutzungsstatistik ermittelt, wie häufig ein bestimmtes Dokument von einer bestimmten Personengruppe benötigt wurde und wie groß daher die vermutliche Wahrscheinlichkeit ist, daß es auch in Zukunft für ein Mitglied dieser Gruppe relevant sein wird, oder das Dokument wird mit seinen Eigenschaften betrachtet und es wird versucht, aus diesen die mögliche Relevanz zu bestimmen. Hierbei wird nicht vernachlässigt, daß die wichtigste Eigenschaft eines Dokumentes sein Inhalt ist. Daneben wird jedoch danach gefragt, welche weiteren Eigenschaften ein relevantes Dokument wahrscheinlich haben würde. Wie Maron es ausdrückt: "What is needed is a retrieval system that can accept and combine 'relevance clues' and then use them to compute for each document the probability that it would be judged relevant by the inquiring patron." [Maron 82]. Während beim

boole'schen Retrieval Eigenschaften eindeutig über Relevanz oder "Nicht-Relevanz" entscheiden [Bookstein 78], wird beim probabilistischen Retrieval das Vorhandensein bzw. Fehlen bestimmter Eigenschaften in eine Wahrscheinlichkeitsbeziehung zwischen Anfrage und Dokument gebracht. Die Verteilung der Auswahlkriterien trägt der Unsicherheit Rechnung, die hinsichtlich der Erfassung eines Dokumentes, seiner Indexierung und dem möglicherweise unscharf formulierten Benutzerinteresse besteht. Mit Mitteln der Wahrscheinlichkeitsrechnung wird abgeschätzt, inwieweit ein Dokument für das Benutzerinteresse relevant ist. Eine Suche könnte also in der Eingabe von Suchbegriffen bestehen, die dem System ohne Ordnung und ohne zusätzliche Operatoren übergeben werden und die das erhoffte Ergebnis beschreiben. Das Information-Retrieval-System wird dann auf der Grundlage dieser Hinweise die Relevanzwahrscheinlichkeit eines Dokumentes berechnen. Nachteile dieser Methode sind neben hohen Anforderungen an die Speicherkapazität der Verlust logischer Zusammenhänge zwischen einzelnen Termen sowie die Modellabhängigkeit der Termgewichtung [Fuhr 91].

(5) Inferenz-Modelle

Während sich alle probabilistischen Modelle dadurch auszeichnen, daß sie die Wahrscheinlichkeit $P(I/\text{Objekt})$ kalkulieren, d.h., die Wahrscheinlichkeit, daß das Informationsbedürfnis (I) eines Benutzers von einem bestimmten Datenbankobjekt (in den meisten Fällen einem Text) erfüllt wird, gibt es weitergehend unterschiedliche Ansätze und Modelle, je nachdem welche Eigenschaften eines Dokumentes zur Berechnung dieses Funktionswertes herangezogen werden. Insbesondere das im folgenden beschriebene sogenannte "Inferenznetz-Modell" zeichnet sich dadurch aus, daß multiple Einzeleigenschaften der in der Datenbasis gespeicherten Dokumente sehr flexibel in die Suche einbezogen werden können [Belkin & Croft 92]. Auch mittels probabilistischer Information-Retrieval-Modelle können auf boole'sche Weise formulierte Anfragen abgearbeitet werden. Es muß hierbei zwischen der Form der Anfrage und dem zugrundeliegenden Information-Retrieval-Modell unterschieden werden [Turtle & Croft 91a]. Das Inferenznetz-Modell beruht auf sogenannten *Bayes-Netzen*. Mathematisch gesehen handelt es sich um gerichtete, azyklische Graphen, die über Knoten und davon ausgehende Kanten Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Variablen bzw. Konstanten abbilden. Die Werte der Variablen sind dabei in den Knoten binär repräsentiert, d.h., sie können entweder die Werte *wahr* oder *falsch* annehmen. Wenn ein Sachverhalt, der durch

einen Knoten p repräsentiert wird, Voraussetzung oder Grund für einen Sachverhalt ist, der in einem Knoten q dargestellt wird, so läßt sich eine gerichtete Kante von p nach q ziehen. Im Knoten q enthalten ist eine Matrix, welche die Wahrscheinlichkeitswerte $P[q/p]$ für alle möglichen Ausprägungen der beiden Variablen enthält. Im genannten Falle bestehen sowohl für den Knoten p als auch für den Knoten q jeweils die Möglichkeiten wahr oder falsch. Im Knoten q muß die Matrix daher vier Einträge aufweisen [Brown 94]. Da ein Knoten auch mehrere sogenannte *Elternknoten* haben kann, enthält die Matrix unter Umständen Werte für alle möglichen (bedingten) Abhängigkeitswahrscheinlichkeiten zwischen dem Knoten und der Menge seiner Elternknoten. Wird einem Wurzelknoten eines solchen Netzes eine bestimmte Wahrscheinlichkeit zugeteilt, kann über das Netz der Wahrscheinlichkeitsgrad jeder möglichen Knotenkombination errechnet werden [Belkin & Croft 92]. Das Netz besteht aus Objektknoten und Konzeptrepräsentationsknoten, die über Kanten miteinander verbunden sind, wenn ein Konzept für ein Objekt zutreffend ist. Beim Information-Retrieval auf Volltext-Dokumenten, für das die Anwendung Bayes'scher Netze insbesondere durch [Turtle & Croft 91a] untersucht wurde, sind die Inhaltsobjekte einer Datenbank herkömmlicherweise Textdokumente bzw. ihre Repräsentationen. Das Objektnetz ist in diesem Fall ein Netz aus Dokumentkonzepten, dem später ein Anfragenetz für eine Anfrage q , deren Konzepte ebenfalls in Knoten repräsentiert sind, angebunden wird. Das Dokumentennetz wird dabei für die Kollektion aufgebaut und verändert sich während der Abarbeitung der Anfrage nicht. Im Fall von Texten werden die Konzeptrepräsentationen z.B. durch Indexieren, sowohl automatisch als auch manuell, erzeugt. In einfacheren Netzen entsprechen die Repräsentationen den im Text vorkommenden Termen, wenngleich sprachanalytische Verfahren auch andere Indexierungen erzeugen können [Salton & McGill 83]. Die Wahrscheinlichkeitswerte errechnen sich über die Vorkommenshäufigkeit bestimmter Konzepte sowohl in individuellen Objekten als auch in der Datenbasis insgesamt [Belkin & Croft 92]. Das Inhaltsnetz repräsentiert somit den Inhalt einer Datenbasis. Typischerweise ist die Datenbasis eine Volltextdatenbank, der Inhalt der Datenbasis die einzelnen Volltexte oder Dokumente. Der Informationsgehalt eines Dokumentes ist im einfachsten Fall die Menge der gewichteten Begriffe, die der Verfasser des Dokumentes gewählt hat. In Anlehnung an diesen anschaulichen Fall sind im Inhaltsnetz Dokumentknoten sowie Begriffsknoten vorhanden. Eine Kante zwischen einem Dokumentknoten d und einem Begriffsknoten r besteht, wenn dieser Begriff im Dokument von Relevanz ist. Ein Maß für die Relevanz läßt

sich durch Kantenbewertungen $P(r,d)$ zum Ausdruck bringen. Das Anfragenetz wurzelt im Informationsbedürfnis des Benutzers, das mittels eines oder mehrerer Konzepte ausgedrückt wird. Es wird generiert, wenn die Anfragestellung analysiert wird. Das Anfragenetz muß für jedes Informationsbedürfnis gesondert erstellt werden und kann infolge interaktiver Anfragemodifikation oder per "Relevance Feedback" verändert werden. Aus einem einzelnen Knoten q , der das Informationsbedürfnis verkörpert, entspringen mehrere Äste für die Anfragerepräsentationen, die wiederum in Form von Knoten zu interpretieren sind und welche die zugrundeliegenden Konzepte darstellen. [Belkin & Croft 92]. Weitere Knoten im Anfragenetz ergeben sich aus Verknüpfungsoperatoren. Normalerweise sind die Konzepte des Dokumentennetzes als invertierte Listen gespeichert, die dann mit dem Anfragenetz verglichen werden.

Auch bei der Suche in Inferenznetzen werden boole'sche Operatoren eingesetzt, besitzen dort jedoch eine andere Wertigkeit als in nicht-probabilistisch aufbereiteten Dokumenten. Auch wenn ein Dokument eine geforderte Bedingung nicht erfüllt, so kann für den entsprechenden Konzeptknoten ein "Default"-Wahrscheinlichkeitswert angenommen und der Weg durch das Netz weiter berechnet werden. Das entsprechende Dokument wird bei Erfüllung anderer Bedingungen weiterhin auf der nach Relevanz geordneten Liste auftauchen, jedoch einen niedrigeren Rang einnehmen, als wenn alle Bedingungen voll erfüllt wären [Brown 94]. Boole'sche Ergebnisse im engeren Sinne haben nur die Werte *wahr* oder *falsch*, während die Ergebnisse von Information-retrieval auf der Basis von Konzeptrepräsentationen einen breiten Bereich von Wahrscheinlichkeiten zulassen [Williams 71].

2.2.3 Relevance-Feedback-Modelle

Relevance-Feedback-Modelle bieten ein Instrument zur Verbesserung der Effizienz von Information-Retrieval-Systemen. Herkömmlicherweise war die Umformulierung von Anfragen ein rein intellektueller Vorgang. Seit Mitte der sechziger Jahre wurde das Relevance-Feedback als kontrollierter, automatischer Prozeß der Anfrageumformulierung eingeführt, der verbesserte Anfrageformulierungen auf der Basis einer Einstiegssuche erzeugt [Salton & Buckley 88a]. Beim Relevance-Feedback handelt es sich also im Grunde um keine Information-Retrieval-Technik an sich, sondern eher um eine interaktive Anfrageverfeinerungsmethode. Die größte Bedeutung beim Relevance-Feedback hat die Umgewichtung von Suchtermen, die auf der Basis des Vorkommens dieser Suchterme in

den vom Benutzer als relevant gekennzeichneten Dokumenten in der Regel automatisch erfolgt [Belkin & Croft 87]. Relevance-Feedback bedeutet die direkte und dynamische Verwendung von intellektuellen Entscheidungen des Suchenden, um entweder die Suche zu modifizieren oder ein verändertes Ranking durchzuführen, jeweils beruhend auf einer automatischen Auswertung der Eigenschaften der vom Benutzer als relevant bewerteten Dokumente [Doszkocz 82]. Der Originalansatz des Relevance-Feedback war für die Anwendung auf vektoriell repräsentierte Anfragen entwickelt. In neuerer Zeit gibt es auch Relevance-Feedback-Mechanismen, die auf die Ergebnismenge boole'scher Formulierungen angewendet werden, ebenso auf die Information-Retrieval-Ergebnisse probabilistischer Systeme. Experimente deuten allerdings an, daß diese Verfahren nicht ganz so effektiv sind wie die bei vektorbasierten [Salton & Buckley, 88b].

Relevance-Feedback enthebt den Benutzer der Details des Anfrageumformulierungsprozesses und teilt die Suchoperation in eine Sequenz kleiner Suchschritte auf. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, beim Relevance-Feedback zugleich eine Expansion der Anfrage vorzunehmen. Während im einfachsten Fall lediglich die zugrundeliegende Anfrage erneut mit veränderten Termgewichten abgearbeitet wird, ist zusätzlich die Aufnahme neuer, in den betrachteten Dokumenten bemerkter Suchterme möglich. Eine Erweiterung anhand der in den als relevant bewerteten Dokumenten häufigsten Terme ist ebenfalls eine Option [Salton & Buckley 88a]. Trotz der nachweisbaren Verbesserungen des Information-Retrieval-Ergebnisses aufgrund des Einsatzes von Relevance-Feedback gibt es auch Kritikpunkte an dieser Technik. So stellt die Identifikation von Dokumenten als relevant für eine Anfrage nur einen sehr groben Zugang zu der darin enthaltenen Information dar [Croft et al. 90]. [Korfhage 91] verbindet seine Kritik am Relevance-Feedback mit einer Kritik von Systemen, die geordnete Ergebnisse zur Grundlage für diese Technik machen. In traditionellen Systemen wird ein Schwellwert festgelegt und den Benutzern der Zugriff auf jene Dokumente verweigert, deren Relevanz unterhalb dieser Schwelle liegt. Sollte ein Benutzer vom Suchresultat noch nicht befriedigt sein, muß er die der Suche zugrunde liegende Anfrage umformulieren. Auch wenn dies automatisch mittels Relevance-Feedback geschieht, so ist es doch vom Benutzer veranlaßt und beruht mithin auf seiner mangelnden Kenntnis der nicht angezeigten Dokumente. Korfhage schlägt als Lösung vor, für jedes Dokument in der Datenbasis einen Graphen der Termgewichte zugänglich zu machen, dessen Form dann mit der Form des Anfragegraphen verglichen werden kann. Andere

Informationswissenschaftler gehen den entgegengesetzten Weg. So wurden in einigen Experimenten beispielsweise nur die obersten fünfzehn Dokumente zugelassen, um eine Relevanzbewertung zur Umformulierung der Anfrage vorzunehmen [Salton & Buckley 88a].

Auch bei der Evaluation von Information-Retrieval-Systemen müssen bei der Verwendung von Relevance-Feedback-Methoden einige Besonderheiten beachtet werden. Relevance-Feedback ist ein Beispiel für einen dynamischen Informationsprozeß, der die Mensch-Maschine-Interaktion als Teil des Informationsprozesses umfaßt. Die interaktive Information-Retrieval-Umgebung erschwert den Evaluationsprozeß, da verschiedene Arten menschlicher Einflußfaktoren in Betracht gezogen werden müssen. So sind menschliche Benutzer zum Beispiel einem Lernprozeß unterworfen, der es notwendig erscheinen läßt, zwischen erfahrenen Benutzern und Laien zu unterscheiden [Salton 92]. Gerade bei Systemen mit geordneten Ergebnismengen haben die Dokumente eine Ordnung, die den Ablauf der Suche bereits teilweise widerspiegelt [Cooper 73a]. Eine Relevance-Feedback-Operation muß anhand der neu aufgefundenen Dokumente beurteilt werden. Es kann also nicht sein, daß ein Dokument, das vorher auf Rang Nr. 8 stand und nun auf Rang Nr. 1 steht, als noch immer interessant für den Benutzer beurteilt wird, der es doch schon gesehen hat. In manchen Experimenten wird daher mit einer sogenannten "Residual-Kollektion" gearbeitet, d.h., die bereits gesehenen Dokumente werden entfernt und weitere Experimente erfolgen auf der veränderten Datenbasis [Salton & Buckley 88a]. Dies ist die erste von zwei Methoden, die zur Evaluation von Relevance-Feedback-Strategien zur Verfügung stehen: eine anfängliche Suche auf der Dokumentenkollektion durchzuführen, die ersten 10 bis 20 Dokumente für die Relevance-Feedback-Kollektion zu selektieren und sie dann für die verbleibende Suche aus der Kollektion herauszunehmen. Diese Strategie ist als *Residual Ranking* bekannt. Die zweite Möglichkeit besteht darin, die Kollektion in zwei Teile zu teilen, Relevance-Feedback-Information aus einem Teil zu ziehen und dann die nachfolgende Suche auf dem zweiten Teil ablaufen zu lassen. Diese Methode heißt *Halbkollektionsmethode* [Robertson 81].

2.2.4 Intelligente Modelle

Exact- und Best-Match-Information-Retrieval-Verfahren gehören, sowohl in experimentellen als auch in operationalen bzw. kommerziellen Systemen, zu den verbreitetsten Information-Retrieval-Methoden [Bookstein 78]. Beide Ansätze können

jedoch weder die terminologische Vielfalt repräsentieren, die für einen hohen Recall erforderlich ist, noch mit linguistischen Phänomenen umgehen, die in Volltexten vorkommen. In neueren Systemen versucht man daher einen anderen Weg zu gehen, der erheblich von der Forschungsrichtung *Künstliche Intelligenz* (KI) beeinflusst wird: den der wissensbasierten Systeme. Im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen, die nur indirekte Möglichkeiten der Konzeptmodellierung bieten, besitzen wissensbasierte Systeme eine explizite Repräsentation von Konzepten und sind daher der inhaltsorientierten Textverarbeitung mächtig. Allgemein- wie Fachwissen wird in einer Textwissensbasis gespeichert, die sowohl themenverwandte als auch faktische Information enthält [Thiel & Hammwöhner 87]. Gerade beim sogenannten *intelligenten* Information-Retrieval, das sich mit explizit wissensbasierten Methoden befaßt, läßt sich eine Verlagerung des Forschungsinteresses vom System hin zum Benutzer und der Verbesserung der Benutzungsschnittstelle feststellen [Sparck Jones 83]. Dabei konzentriert sich besonders der sogenannte *Cognitive-Engineering*-Ansatz beim Systemdesign auf die kognitiven und physischen Interaktionen des Individuums mit dem System [Norman 86]. Traditionell ist dieser Ansatz stark in der Psychologie verwurzelt und betrachtet die Systeme im allgemeinen als externe kognitive Werkzeuge, die den Benutzern beim Lösen von Aufgaben oder Problemen helfen sollen. Obwohl sich die Anstrengung in der Information-Retrieval-Forschung traditionell auf die Information-Retrieval-Systeme selbst konzentriert hat, gibt es ein ständig wachsendes Interesse an der Schaffung von Wissensbasen, die auch als Grundlage für die Beantwortung von Anfragen aus dem Bereich des sogenannten Fakten-Information-Retrieval dienen können [Smith 87]. In der KI gab es bisher zwei Ansätze, das Problem zu lösen. Der eine konzentrierte sich auf die Entwicklung natürlichsprachlicher Benutzungsschnittstellen für Datenbasen und Information-Retrieval-Systeme, der andere befaßte sich vornehmlich mit der Interaktion zwischen Vorkenntnissen und Verstehen des Benutzers sowie mit der Repräsentation und Organisation dieses menschlichen Wissens [Schank et al. 81]. Da menschliche Wissensstrukturen zwar sehr komplex sind, jedoch nicht notwendigerweise direkt beobachtet werden können, müssen für Untersuchungen der Abläufe beim Retrieval sogenannte *Black Box*-Techniken eingesetzt werden [Brookes 81].

Wie bereits ausgeführt ist Information-Retrieval ein Forschungsbereich, der sehr vom Konzept der Wissensmodellierung und dessen Repräsentationsformen abhängt: Wissen über den Inhalt einer Datenbasis, die Struktur, wie die Information abgefragt werden kann,

die Struktur der Datensätze, Literatursuche allgemein u.a.m. [Brooks 83]. Mehr und mehr wird versucht, diese verschiedenen Wissenskategorien bereits beim Systementwurf mit zu berücksichtigen. Intelligente Expertensysteme beispielsweise sind wissensbasierte Systeme, die Probleme nach der gleichen Vorgehensweise wie menschliche Experten zu lösen versuchen. Von vielen existierenden Expertensystemen wird eine sehr einfache Systemarchitektur verwendet. Oft bestehen sie aus einer Datenbasis, in der eine Sammlung von Fakten und Regeln gespeichert ist sowie einer sogenannten "Inferenzmaschine", welche die Schlußfolgerungen aus den Fakten und Regeln ermittelt, möglicherweise in Interaktion mit dem Benutzer [Sloman 83]. Jede Wissensbasis repräsentiert also folglich eine sogenannter *Expertise* für eine sogenannte *Domäne*, d.h. ein i. d. R. kleines und beschränktes Wissensgebiet. Die Wissensbasis ist ausschließlich auf dieses Gebiet zugeschnitten und kann nur hier Probleme lösen [Brooks 83]. Die Vorgehensweise beim Expertensystemansatz besteht darin, menschliche Experten (z.B. Informationsvermittler) nach den Regeln und Erkenntnissen zu fragen, die diese bei der Lösung bestimmter Probleme (z.B. des Information-Retrieval) anwenden [Salton 87]. Wissensbasierte Systeme imitieren dabei nicht unbedingt den menschlichen Experten, sondern stellen oftmals überhaupt erst einmal die elektronischen Mittel zur Verfügung, Wissen außerhalb des menschlichen Gehirns zu sammeln, zu speichern, zu verteilen und in Form von Schlußfolgerungsmechanismen automatisiert anzuwenden. Expertensysteme sind insofern ein Sonderfall von intelligenten Informationssystemen, als sie darauf angelegt sind, das Know-how von Experten zu sammeln und so an Probleme heranzugehen wie dies menschliche Experten auch tun würden [Smith 87]. Grundlage für Expertensysteme sind zwei Komponenten: die Wissensbasis, die auf organisierte Weise Fakten von Interesse zu einem bestimmten, begrenzten Wissensgebiet enthält, und eine Anzahl Regeln, die auf dem gespeicherten Wissen operieren und auf systematische Art und Weise versuchen, Problemlösungen daraus abzuleiten [Salton 87]. Entsprechend wird heute weniger von KI-, intelligenten oder Experten-Systemen gesprochen als von sogenannten *wissensbasierten* Systemen generell. Dieser Begriff drückt aus, daß ein derartiges System über eine Wissensbasis verfügt, in der das vom System benutzte Wissen explizit kodiert ist [Reimer 91]. Der interaktive Information-Retrieval-Ansatz hat dazu geführt, daß der Benutzer und seine Aktivitäten bei der Anfrageformulierung und Anfrageumformulierung in den Mittelpunkt gerückt sind, so daß intelligentes Information-Retrieval letztendlich als Interaktion, insbesondere als Mensch-Computer-Interaktion aufgefaßt werden muß [Belkin

et al. 94]. Es ist dabei die Aufgabe des Information-Retrieval-Systems, dem Benutzer bei der Erfüllung seines Informationsbedürfnisses aktiv und passiv zu unterstützen, anstatt "nur" Dokumente als Antwort auf die Anfrage zu präsentieren [Robertson 81]. Hierbei ist es unabdingbar, das Informationsbedürfnis des Benutzers sowie seine evt. Ursachen und Kontexte auf intelligente Art und Weise zu verstehen [Vallee & Askevold 73].

Eine Schwierigkeit bei vielen herkömmlichen Information-Retrieval-Systemen ist die Formulierung der Anfrage. Woher weiß der Benutzer, welche Terme sich als relevant erweisen werden und deshalb für die Formulierung der Anfrage verwendet werden sollen? Was macht man, wenn unterschiedliche Berufsgruppen und Nationen verschiedene Vokabeln für dieselben Sachverhalte verwenden (z.B. Kosmonaut/Astronaut; Bruch/Fraktur)? Häufig wird in einem solchen Fall die Anfrage automatisch umformuliert werden müssen, wozu herkömmliche Information-Retrieval-Systeme in der Regel nicht in der Lage sind [Clarkson 93]. Unter dem Hintergrund dieser und verwandter Problematiken wurden eine Reihe von Versuchen unternommen, einen *elektronischen Informationsspezialisten* zu schaffen, der als eingebauter Vermittler den menschlichen Benutzern hilft, ihre Anfragen so zu erzeugen, weiter zu bearbeiten und letztendlich umzuformulieren, daß das System sie optimal bearbeiten kann [Kracker 92]. Die Klärung, Verdeutlichung und Eingrenzung von Anfragen durch einen Mensch-Maschine-Dialog ist dabei weniger bei Faktenanfragen notwendig als vielmehr bei Anfragen von allgemein informativem bzw. von Forschungscharakter [Meghabghab 94]. Während es etliche Beispiele für die erfolgreiche Implementierung von Expertensystemen gibt [Puppe 88][Kurzweil 93], kommt [Salton 87] nach einer Betrachtung über ihre Eignung für das Information-Retrieval zu dem Schluß, es sei unwahrscheinlich, daß dieser Ansatz große Erleichterungen mit sich bringen werde. Der Haupthinderungsgrund liege dabei in der Unschärfe der Informationsbedürfnisse vieler Benutzer. Der Sinn dieses Ansatzes und die Effektivität von intelligenten Information-Retrieval-Verfahren ist somit nach wie vor umstritten. Für die weitere Zukunft wird in der KI-Forschung an der Entwicklung *intelligenter Agenten* für die Informationsbeschaffung aus großen Datenmengen gearbeitet [Clarkson 93]. Daneben besteht die Hoffnung, natürlichsprachige Benutzungsschnittstellen zu Informationssystemen zu entwickeln [Meghabghab 94]. Nach einem Überblick über die Information-Retrieval-bezogene Fachliteratur der Künstlichen Intelligenz kommt [Smith 87] zu dem Schluß, daß es mit dem Anwachsen der gespeicherten Datenmengen immer schwieriger werden wird, ein *Experte* zu bleiben und daß daher *intelligente Hilffssysteme*

erforderlich werden. Ein Lösungsansatz hierzu ist die Entwicklung neuartiger Schnittstellen, die auf bisher noch nicht gekannte Weise Wissen zugänglich machen und Interaktion mit Datenbankinhalten erlauben. Nach Meinung des Verfassers bieten intelligente Verfahren, wie sie zur Zeit z.B. auch in den Arbeiten von [Belkin & Croft 87][Müller 96] entwickelt werden, durch die Verbesserung grundlegender Mensch-Maschine-Interaktionsmechanismen der Benutzungsschnittstelle neben den in dieser Arbeit beschriebenen Visualisierungsansätzen ein ebenfalls großes Potential zur Verbesserung der Natürlichkeit von Informationsdialogen mit Datenverarbeitungssystemen.

2.2.5 Neuronale Modelle

Durch die zunehmende Erforschung der kognitiven wissensverarbeitenden Mechanismen des Menschen entstanden in der sogenannten *Neuroinformatik* Verfahren, die sich als der Versuch der elektronischen Nachbildung eines biologischen Gehirns bezeichnen lassen könnten [Brunak & Lautrup 93]. Als ein vielversprechender Ansatz betrachtet wird die Erforschung neuronaler Netze [Rojas 93]. Kurz gesagt sind neuronale Netze große selbstlernende Assoziativspeicher, die in der Lage sind, einzelne Datenelemente effizient zu speichern [Scholtes 91]. Neuronale Netze unterscheiden sich in einigen Charakteristika von intelligenten Modellen und den darauf aufbauenden Expertensystemen:

- neuronale Netze werden eher trainiert als programmiert;
- da neuronale Netze eher über Assoziationen, d.h., über die Adressierung durch Zuordnung ähnlicher Merkmale arbeiten, kann unter günstigen Umständen Information auch aus unvollständigem und unscharfem Input abgeleitet werden;
- neuronale Netze lernen über Versuch und Irrtum, weshalb sich ihre Leistung mit steigender Erfahrung und Dauer verbessert;
- neuronale Netze sind in der Lage, zu generalisieren. Für das Retrieval kann dies bedeuten, daß ein neuronales Netz in der Lage ist, anhand von Beispielen verschiedene Anfragetypen unterscheiden zu lernen;
- neuronale Netze können darauf trainiert werden, Analogien zu erkennen;

Architektur und Lernmechanismen von neuronalen Netzen können prinzipiell auf jedes spezifische Anwendungsgebiet der realen Welt zugeschnitten werden [Meghabghab 94]. Zur Realisierung von Information-Retrieval-Funktionalitäten auf der Basis von neuronalen Modellen wurden u.a. die Methoden der *Back Propagation*, der *Assoziativspeicher*, der *Hopfield-Netze* sowie der *Kohonen-Karten* erarbeitet. Insbesondere trainierbare Kohonen-

Karten sind in der Lage, Beziehungen zwischen Termen und Eigenschaften zu erlernen und abzubilden [Scholtes 91]. Da Information-Retrieval-Modelle auf der Basis von neuronalen Netzen von der Grundannahme ausgehen, daß Information-Retrieval-Funktionalitäten sich in Form von Mustererkennungsproblemen modellieren lassen, haben derartige Modelle bisher eindeutig von statistischen Mustererkennungstechnologien profitiert. Aufgrund des weitgehend statischen Charakters (z.B. insbesondere in Bibliothekskatalogen und anderen Datensammlungen mit geringer Änderungsfrequenz) gespeicherter Daten konnten diese bisher in der Regel vorverarbeitet werden. Eine Methode des Information-Retrievals auf Dokumenten mit Hilfe von Mustererkennungsverfahren ist der sogenannte *n-Gramm-Suchalgorithmus*. Eine Anfrage, bestehend aus einem oder mehreren Sätzen, wird auf einen n-Gramm-Vektor reduziert, der die häufigsten Kombinationen von n Zeichen in der Anfrage repräsentiert. Dieser Vektor wird mit den n-Gramm-Vektoren in der Datenbasis verglichen. Der n-Gramm-Häufigkeitsvektor eines Dokumentes kann quasi als dessen "Fingerabdruck" angesehen werden, aufgrund dessen es eindeutig identifiziert werden kann. Normalerweise sind Digramme nicht aussagekräftig genug. Trigramme bieten genügend Unterscheidungsmöglichkeit und lassen sich gut rechnerisch verarbeiten, während höhergradige n-Gramme einen unverhältnismäßig großen Rechneraufwand erfordern [Scholtes 91].

Bisher leiden viele auf neuronalen Ansätzen beruhende Anwendungen noch unter starken Performanzproblemen, da sie in der Regel mittels softwaretechnischer Simulationen vorgenommen werden und nicht mit echt paralleler oder gar neuronaler Computerhardware. Dennoch scheint eine positive Wende gegenüber z.B. den statistischen Verfahren früher oder später eintreten zu müssen, da der erforderliche Speicher- und Verarbeitungsbedarf für neuronale Ansätze langsamer anwächst als bei Modellen auf statistischer Basis. Wo statistische Berechnungen mit wachsender Komplexität entweder in der Zeit oder im Speicherplatz exponentiell anwachsen, tun dies neuronale Algorithmen nur linear [Scholtes 91]. Ein vielversprechendes Einsatzgebiet für neuronale Netze im Information-Retrieval ist die Evaluation dynamischer, schnellwachsender Netzstrukturen [Scholtes 91].

3 Überblick über verwandte Arbeiten und Anforderungsdefinition

Der in der vorliegenden Arbeit verfolgte Ansatz geht von der Annahme aus, daß die integrierte Verwendung von direktmanipulativen Informationsvisualisierungsmodellen bei Benutzern von Informationssystemen eine natürlichere Interaktion während der Exploration und der Orientierung innerhalb der Inhalte der Datenbasis sowie während der Anfragekonstruktion, der Relevanzbewertung und der Orientierung innerhalb von Ergebniskontexten unterstützt [Hemmje et al. 94b]. Der Entwurf und die Integration von Informationsvisualisierungs- und Interaktionsmechanismen für Benutzungsschnittstellen von Informationssystemen erfolgt auf der Grundlage der bereits vorgestellten Basisfunktionalitäten von Datenbank und Information-Retrieval-Systemen. Mit Hilfe von zu diesen Funktionen korrespondierenden Abbildungsmodellen und Metaphern wird eine Operationalisierung der im nachfolgenden Kapitel vorgestellten Modellbildung sowie eine darauf aufbauende prototypische System- und Anwendungsentwicklung zum Ziel der Arbeit.

3.1 Interaktive Informationsvisualisierungssysteme - Stand der Forschung

In der Literatur wurden in den letzten 10 Jahren einige Ansätze veröffentlicht, die interaktive Informationsvisualisierungsmethoden für den Einsatz in Benutzungsschnittstellen zu Informationssystemen beschreiben. In den folgenden Abschnitten befassen wir uns zuerst mit der Funktionalität und den Eigenschaften interaktiver Informationsvisualisierungsmechanismen, indem wir die wichtigsten verwandten Ansätze der Literatur beleuchten. Abschließend leiten wir weiterführende Anforderungen ab, die wir zum Ausgangspunkt unserer Modellbildung und Operationalisierung im weiteren Verlauf der Arbeit machen.

3.1.1 GUIDO

Das *Graphical User Interface for Data Organisation* (GUIDO) von [Korfhage 91] visualisiert Anfrage- und Ergebnismengen auf der Grundlage eines relevanzbasierten Abstandsmodelles. Abbildung 1 zeigt eine GUIDO-Visualisierung.

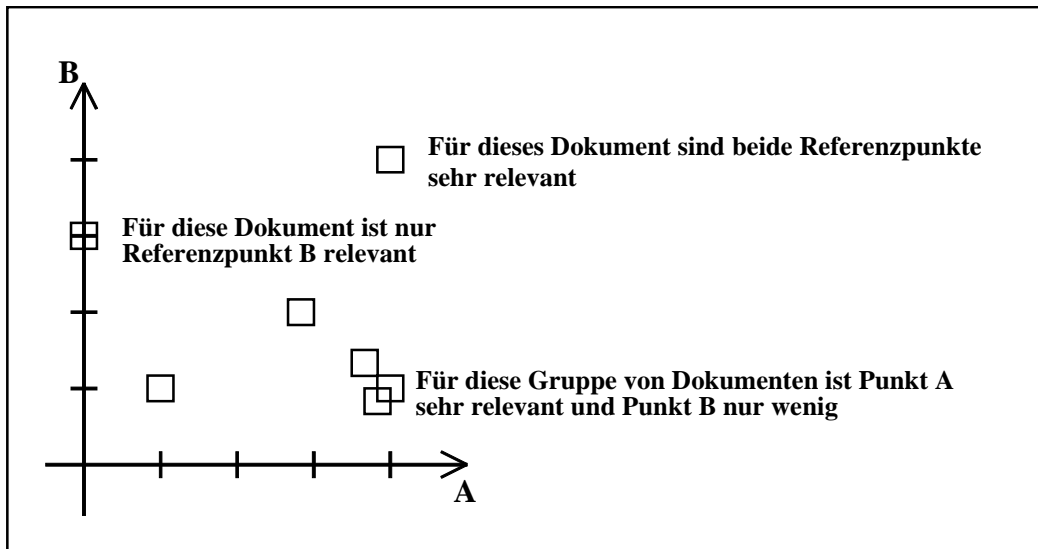


Abbildung 1: GUIDO-Visualisierung mit zwei Referenzpunkten [Korfhage 91]

Durch n Terme oder Termgruppen werden innerhalb des GUIDO-Visualisierungsansatzes sogenannte *Referenzpunkte* definiert, welche einen n -dimensionalen Vektorraum aufspannen. Die Referenzpunkte werden nicht durch Punkte des Raumes, sondern in Form von Dimensionen der Darstellung selbst visualisiert. Dies geschieht beispielsweise durch die Koordinatenachsen eines euklidischen Koordinatenkreuzes. Die Dokumente der Ergebnismenge werden als Punkte des Vektorraumes präsentiert. Ihre Koordinaten werden aus der Relevanz eines Dokumentes bezüglich der einzelnen Referenzpunkte berechnet. Eine solche Darstellung vermittelt den Benutzern Information, ohne daß es notwendig wird, sich zur näheren Auswertung einer bestimmten Dokumentgruppe mit dem detaillierteren Inhalt der Dokumente oder der Relevanzrelationen vertraut zu machen. Anhand der Position eines jeden Dokuments ist unmittelbar ersichtlich welche Terme für die Aufnahme eines Dokumentes in die Ergebnismenge verantwortlich sind und in welchem Ausmaß dies der Fall ist. Je nach Anwendung lassen sich auch Beziehungen wie z.B. semantische Abstände zwischen verschiedenen Dokumenten durch die Wahrnehmung ihrer räumlichen Entfernung in einer solchen Visualisierung leicht erkennen. Dies bedeutet dann z.B., daß Dokumente, die visuell eine Gruppe bilden, auch thematisch betrachtet eine

Gruppeneigenschaft aufweisen, da sie ähnliche Relevanzwerte bezüglich der entsprechenden Referenzpunkte haben.

Solange Benutzer weniger als fünf Referenzpunkte definieren, läßt sich die Visualisierung durch eine derartige Abbildungsmethode sehr gut handhaben. Weitere Referenzpunkte bzw. Dimensionen müssen jedoch durch andere visuelle Attribute wie Farbe, Form, Größe oder Bewegung simuliert werden. Es ist fraglich, inwieweit Benutzer in der Lage sind, bei einer solchen mehrdimensionalen Darstellung die Informationsvisualisierung noch ohne einen größeren kognitiven Interpretationsaufwand zu erfassen. Das GUIDO-System eignet sich aus diesem Grund nur zur Darstellung von Ergebnismengen mit einer kleinen bis mittleren Menge von Referenzpunkten.

3.1.2 VIBE

Visualisation By Example (VIBE) von [Olsen et al. 91] realisiert eine visuelle Darstellung der Ergebnismenge in der Ebene. Mit den Termen der Anfrage werden Referenzpunkte als geometrisch beliebig verteilte Punkte in der Ebene definiert. Diese bilden die Ecken eines Polygons. Die Dokumente der Ergebnismenge werden durch graphische Symbole im Inneren des Polygons dargestellt. Die Position der einzelnen Dokumente berechnet sich anhand der Relevanzwerte bezüglich der einzelnen Referenzpunkte. Je relevanter ein Referenzpunkt für ein bestimmtes Dokument ist, desto näher wird das Dokument zu diesem Referenzpunkt positioniert. Der semantische Abstand zwischen zwei Dokumenten wird damit wie beim GUIDO-System auf den geometrischen Abstand zwischen den betreffenden Symbolen abgebildet. Durch die Beschränkung auf eine zweidimensionale Darstellung entsprechen die geometrischen Abstände der Dokumente von den Referenzpunkten jedoch nicht mehr den absoluten Relevanzwerten, sondern dem Verhältnis der Relevanz des Dokumentes zu allen Referenzpunkten der Darstellung. Es geht somit ein Teil der Relevanzinformation verloren.

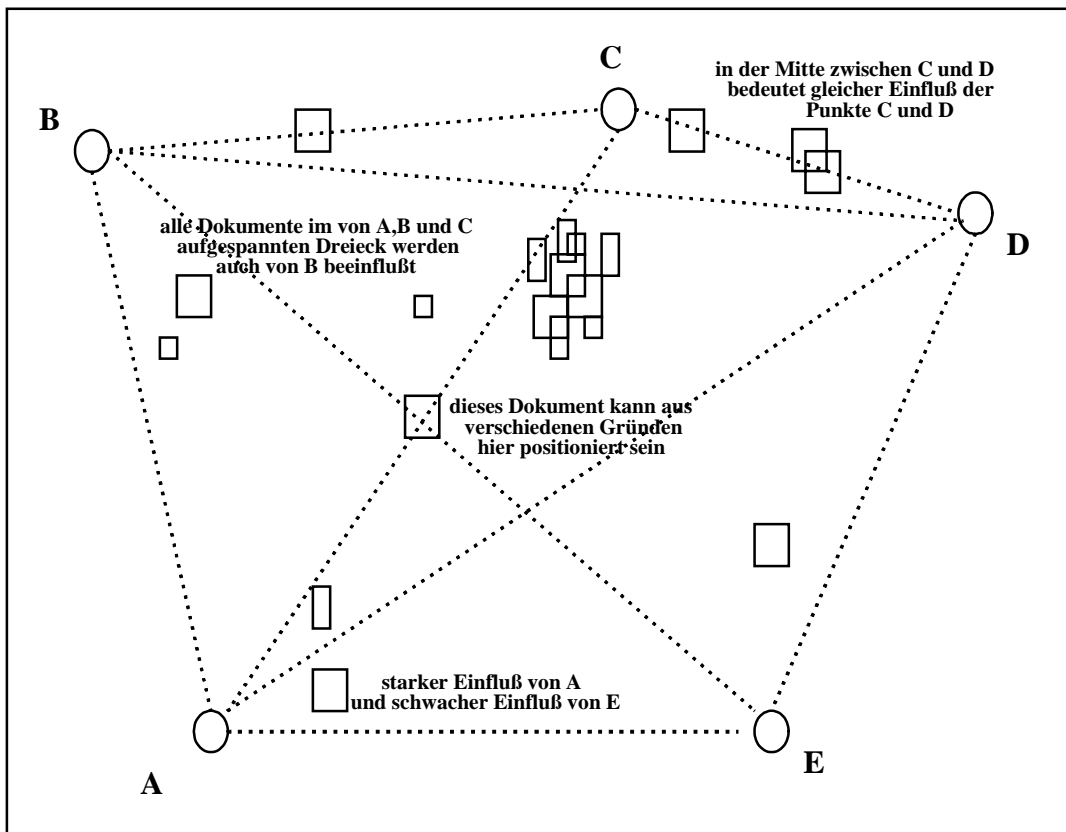


Abbildung 2: Ergebnispräsentation mit dem VIBE-System [Korfhage 91]

Abbildung 2 zeigt eine VIBE-Visualisierung mit fünf Referenzpunkten. Für das Dokumentsymbol, welches genau in der Mitte des von den Referenzpunkten A, B, C und E aufgespannten Vierecks liegt, ist hier nicht klar entscheidbar welcher der vier Referenzpunkte besonders relevant für das betreffende Dokument ist. Dem Verlust an Information steht eine leichter handhabbare Darstellung als im GUIDO-System gegenüber. Der Benutzer kann auch bei einer größeren Anzahl von Referenzpunkten die graphischen Gegebenheiten intuitiv erfassen.

3.1.3 Info-Crystal

Viele Information-Retrieval-Systeme verwenden immer noch boole'sche Operatoren, um die für eine Fragestellung relevanten Konzepte zur Formulierung einer Anfrage zu kombinieren. Das Info-Crystal-System von [Spoerri 93], das sowohl ein Informationsvisualisierungswerkzeug als auch die Implementierung einer visuellen Anfragesprache darstellt, ist ein gutes Beispiel für eine visuelle Benutzungsschnittstelle zu einem boole'schen Information-Retrieval-System. Neben vektoriellen Anfragen können insbesondere boole'sche Formulierungen graphisch aufgebaut werden. Die Info-Crystal-

Informationsvisualisierungsmethode hat die Eigenschaft, daß jedes ihrer inneren Symbole eine bestimmte boole'sche Kombination der Anfrageterme darstellt. Benutzer können eines der Symbole anwählen, um den damit verbundenen boole'schen Ausdruck zu selektieren oder zu deselektieren. Zu diesem Zweck verwendet Info-Crystal eine erweiterte Darstellung von Venn-Diagrammen (Diagramme zur Mengendarstellung), bei denen eine Kodierung der Information über die Form (Kodierung der Anzahl der verwendeten Konzepte), die räumliche Nähe (Kodierung der inhaltlichen Verwandtschaft), den Rang (Anzahl der erfüllten Kriterien), die Farbe oder Struktur (Kodierung eines spezifischen Kriteriums) sowie die Größe oder Helligkeit (Kodierung quantitativer Information) von Symbolen für Suchkriterien erfolgt. Die derart erzeugten graphischen Symbole visualisieren "atomare" Suchmuster, die durch eine Anfrage spezifiziert werden. Durch die Verkettung verschiedener Info-Crystal-Darstellungen können die Benutzer inkrementell auch sehr komplizierte Anfrageformulierungen erstellen oder sich eine "Bibliothek" von Formulierungen aufbauen, aus der einfachere Formulierungen zu komplexeren integriert werden können [Spoerri 93]. Abbildung 3 zeigt die Ableitung einer Info-Crystal-Darstellung aus einem Venn-Diagramm.

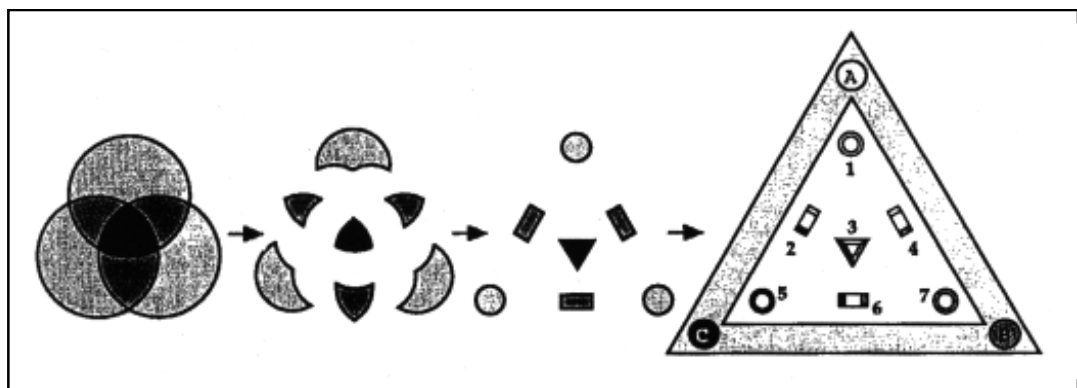


Abbildung 3: Vom Venn-Diagramm zum Info-Crystal [Spoerri 93]

Info-Crystal arbeitet auf beliebigen Datentypen, solange die mit der Visualisierung verbundenen Information-Retrieval-Methoden auf der eindeutigen Identifizierung von Datenelementen beruhen. Das System unterstützt den Benutzer bei folgenden Aktivitäten:

- Anfragen können durch die Manipulation visuell-direktmanipulativer Symbole konstruiert werden,
- im Anfrageraum kann navigiert werden,
- Anfragerreformulierungen sind visuell-direktmanipulativ möglich
- Dateninhalte können visuell-direktmanipulativ inspiziert werden

Bei komplexeren Anfragestrukturen werden die resultierenden Visualisierungen unter Info-Crystal jedoch schwerer interpretierbar. Dadurch werden Benutzer einer höheren kognitiven Belastung für die Interpretation der verschiedenen Visualisierungsobjekte sowie der strukturellen Zusammenhänge innerhalb der Visualisierungsobjekte der Gesamtanfrage und der Visualisierungsobjekten der einzelnen Teilkomponenten der Anfrage ausgesetzt (siehe z.B. Abbildung 4).

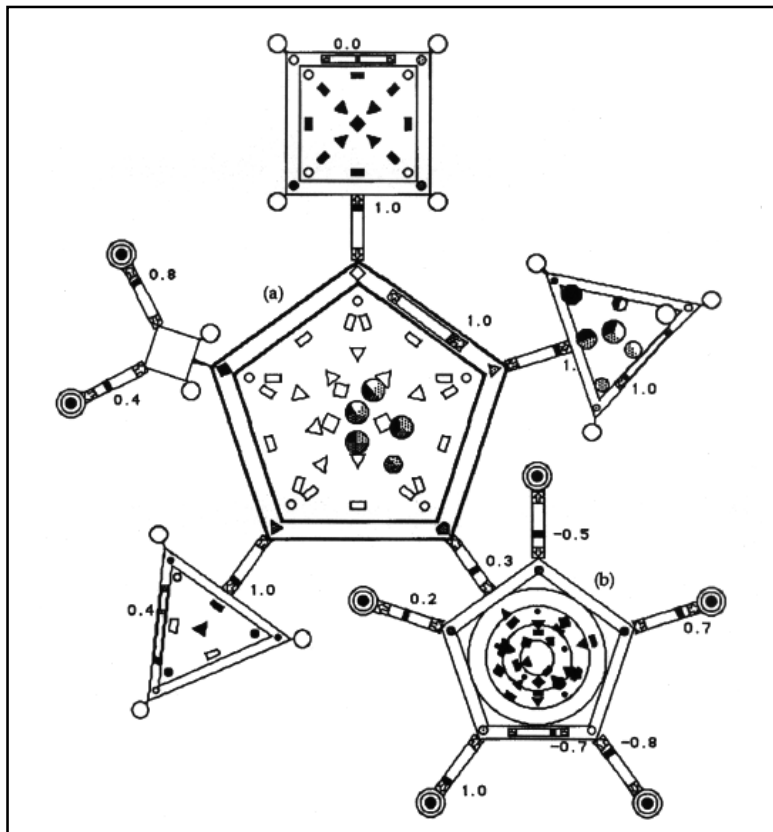


Abbildung 4: Komplexes Info-Crystal [Spoerri 93]

Aus diesem Grund kann man den Info-Crystal-Ansatz ab einer gewissen Komplexität eher in den Bereich der visuellen Sprachen als in den Bereich von auf kognitive Effizienz abzielenden Informationsvisualisierungsansätzen einordnen. Kontexterweiternde Navigations-, Explorations- sowie weitergehende Analyseaktivitäten auf den Ergebnismengen werden von Info-Crystal nicht visuell unterstützt.

3.1.4 Starfields

Die zur interaktiven Visualisierung von numerischer Information mit Hilfe von räumlichen Anordnungen verwendete Methode der sogenannten *Starfield*- oder *Scatterplot*-

Visualisierung wird in Abbildung 5 anhand des sogenannten *Homefinder*-Prototypen [Shneiderman et al. 92] dargestellt. Es handelt sich dabei um einen Visualisierungsalgorithmus, der numerische Attribute von informationellen Objekten auf die Koordinaten von visuellen Objekten in einer zweidimensionalen Ebene abbildet. Die überlagernde Visualisierung weiterer Objektattribute wird dabei in der Regel durch Farb-, Form- und Größenkodierungen der dargestellten Punktwolken erzielt. Vorteilhaft ist bei dieser Methode, daß sie einerseits bezüglich der Anzahl der darstellbaren Objekte sehr gut skaliert und zum anderen mit sehr stark benutzungsorientierten sogenannten *Zooming*- und *Filtering*-Algorithmen zur Regulierung und Kontrolle der Darstellungsdichte kombiniert werden kann. Ferner eignet sich diese Methode sehr gut zur Realisierung von hochgradig dynamischen Rückkopplungen bezüglich interaktiver Anfrageveränderungen im Sinne der sogenannten *Dynamic Querying*- und *Tight Coupling*-Konzepte. In der dargestellten *Homefinder*-Visualisierung lassen sich beispielsweise Anfragen auf eine Wohnungsdatenbank dahingehend verändern, daß mit Hilfe von vier Schieberegler die Entfernungen zwischen den Wohnungen und spezifischen Punkten der Geografie sowie die Anzahl der Zimmer und der Preis der Wohnung verändert werden können. Die Visualisierungskomponente reagiert dann unmittelbar durch das ein- und ausblenden der neuen Ergebnismengen. Die Antwortzeiten dieser sehr eng rückgekoppelten dynamischen Visualisierung ist dabei im Idealfall so hochdynamisch, daß Benutzer bei schnelleren Bewegungen der Regler den Eindruck einer Echtzeitanimation der zu den Reglereinstellungen und damit der Anfrageparametrisierung korrespondierenden Datenmengen erhalten.

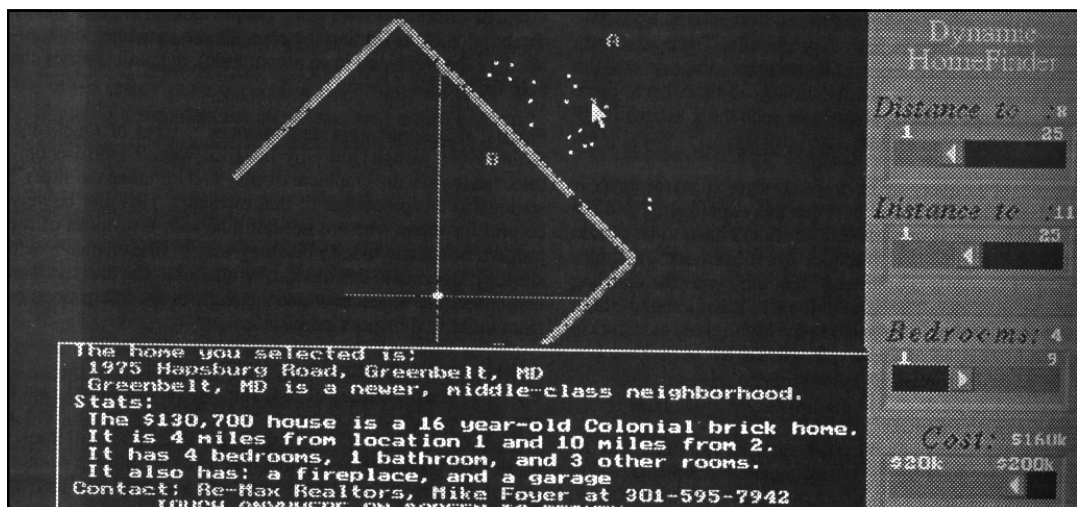


Abbildung 5: Starfields [Shneiderman et al. 92]

Probleme entstehen bei Starfields lediglich dadurch, daß sich die Orientierung und Skalierung der Dimensionen des Visualisierungsraumes nicht dynamisch verändern lassen. In der Regel handelt es sich bei Anwendungen von Starfield-Darstellungsmethoden also um bzgl. der Orientierung und der Skalierung der Raumdimensionen konstante Abbildungsregeln zwischen dem Wertebereich des darzustellenden numerischen Objektattributes und dem Wertebereich von einer der beiden räumlichen Bildschirmdimensionen.

3.1.5 Tree-Maps

Zur Darstellung von hierarchisch strukturierten Ergebnismengen innerhalb von Benutzungsschnittstellen zu Informationssystemen werden oft auch sogenannte Baumdarstellungen verwendet. Besonders gut läßt sich die Entwicklung dieser Darstellungsmethode anhand der in Abbildung 6 von [Shneiderman 92] dargestellten Ansätze verfolgen.

Mit Hilfe räumlicher Anordnungskodierung sowie Farb- und Flächenkodierung stellen die Baumvisualisierungen und im speziellen die besonders bezüglich der Ausnutzung des Darstellungsraumes sehr effizienten sogenannten *Tree-Map*-Darstellungen ein Extrem innerhalb dieser Entwicklung im Bereich zweidimensionaler Visualisierungsansätze dar. Bezüglich der kognitiven Effizienz schneiden jedoch neben dem Info-Crystal-Ansatz auch die Tree-Maps besonders bei sehr großen oder stark strukturierten Ergebnismengen eher schlecht ab. Ab einer gewissen Komplexität sollte man auch diesen Visualisierungs-Ansatz eher in den Bereich der visuellen Sprachen als in den Bereich kognitiv effizienter Informationsvisualisierung einordnen. Darüber hinaus werden weitergehende inhaltliche und strukturelle Analyseaktivitäten auf den Ergebnismengen von den Tree-Map-Ansätzen ebenfalls nicht unterstützt.

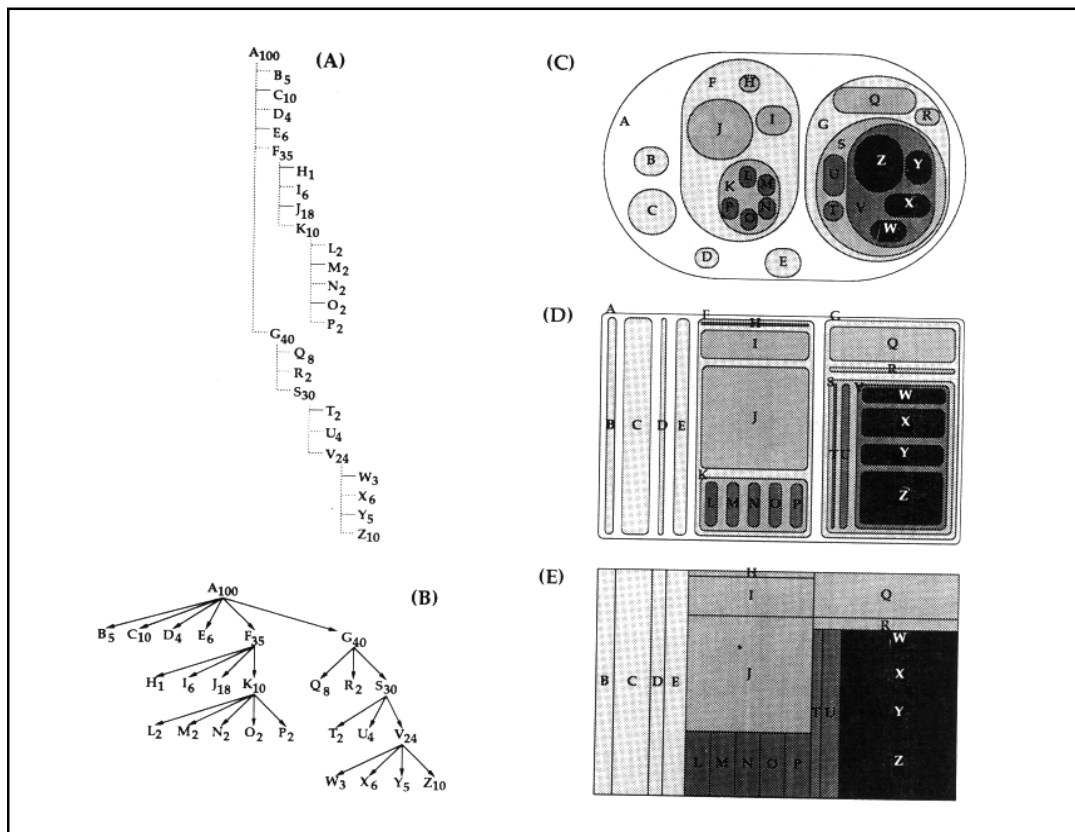


Abbildung 6: Entwicklung von Tree-Maps nach [Shneiderman 92]

3.1.6 3D Rooms

In der zum Information-Visualizer-System [Card et al. 91] gehörenden *3D-Rooms*-Visualisierungskomponente wird Information mit Hilfe der Metapher von Räumen im Sinne von Zimmern, also Arbeitsräumen, die Informationskontexte für verschiedene Aufgabenbereiche zusammenfassen, verwaltet. Zwischen den einzelnen Arbeitsräumen kann visuell-direktmanipulativ navigiert werden, so daß Benutzer auf diese Weise sehr einfach informationelle Anwendungs- oder Arbeitskontexte wechseln können. Eine Überblicksvisualisierung über die gesamte Rooms-Welt hilft zusätzlich bei der Orientierung.

Der Ansatz von 3D-Rooms stellt eine Weiterentwicklung des Rooms-Konzeptes [Henderson & Card 86] dar (siehe Abbildung 7). Im Unterschied zum 3D-Roomskonzept wurden beim ursprünglichen Rooms-Konzept unterschiedliche Arbeitskontexte nicht mit Hilfe einer Zimmermetapher sonder mit Hilfe einer Desktop- und Fenstermetapher visualisiert. Das Rooms-Konzept ist im zweidimensionalen Darstellungsraum auf der Basis

der Desktop-Metapher in gewisser Hinsicht in vielen der heute bereits existierenden Fenstersystemen in Form von einem sogenannten *Virtual Window Manager* implementiert.

Grundlage des Rooms-Ansatzes ist die Erkenntnis, daß in der realen Arbeitswelt eine geringe Menge von Information, die entweder häufig benötigt wird oder gerade im Gebrauch ist, dort aufbewahrt wird, wo sie ohne große Mühe oder Kosten erreicht werden kann, z.B. auf dem Schreibtisch. Umfangreichere, weniger häufig benötigte Information wird in einem sekundären Speicherbereich aufbewahrt, z.B. im Regal. Größere und noch seltener benötigte Informationsmengen befindet sich in tertiären Speicherbereichen, z.B. in einem Archiv oder einer Bibliothek [Henderson & Card 86].

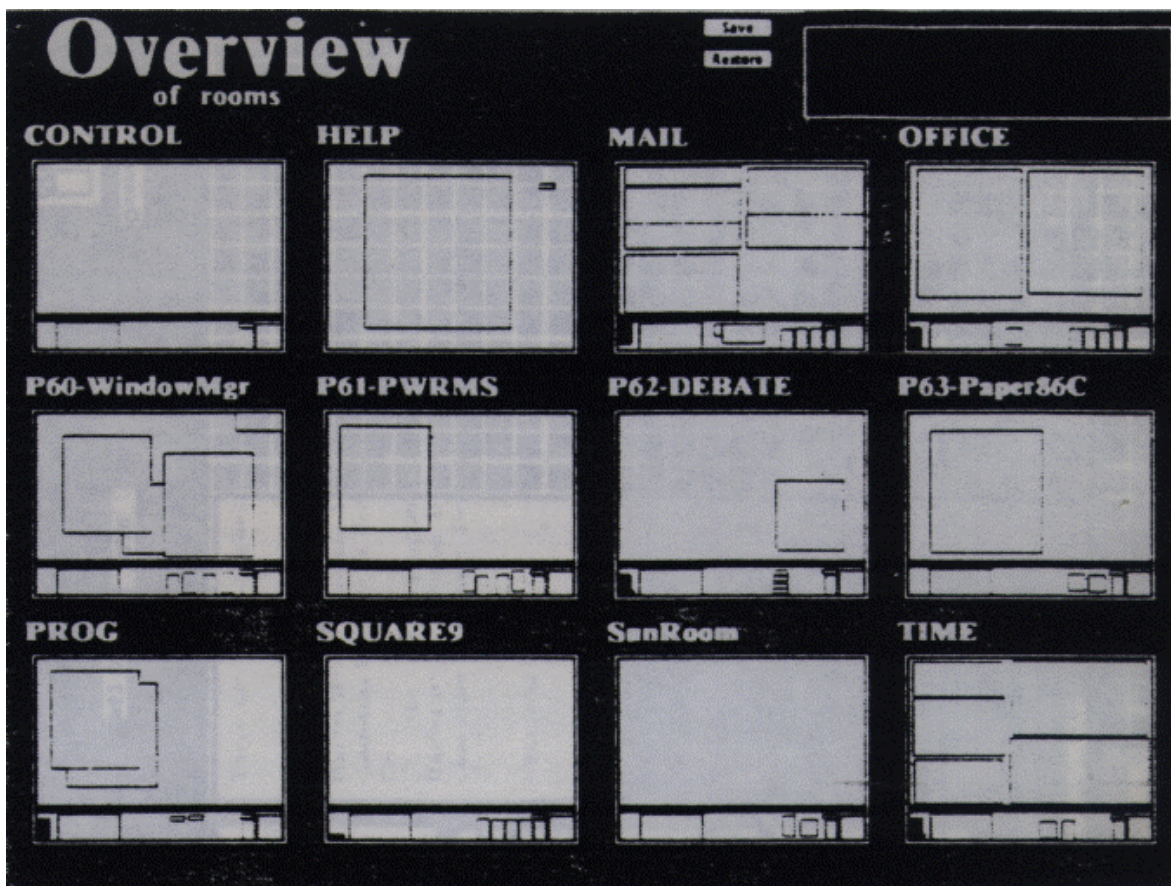


Abbildung 7: Rooms-Übersicht [Henderson & Card 86]

3.1.7 Cone Trees

Neben der Rooms-Metapher verfügt der Information-Visualizer mit einer Komponente zur Visualisierung von Kegelbäumen, sogenannte *Cone Trees*, über eine weitere Visualisierungsmethode, die insbesondere eine kognitiv effiziente Visualisierung von hierarchisch strukturierten Informationsmengen gestatten [Robertson et al. 91].

Kegelbäume sind gleichmäßig in drei Dimensionen angelegte hierarchische Baumdarstellungen. Abbildung 8 zeigt einen Kegelbaum, der aus einer hierarchischen Anordnung von Knoten und Kanten besteht. Sobald ein Knoten des Baumes mit der Maus selektiert ist, rotiert der Baum so, daß der selektierte Knoten sowie jeder Knoten auf dem Pfad von der Wurzel des Baumes zum selektierten Knoten in den Vordergrund gerückt und dadurch hervorgehoben dargestellt wird. Die Rotationen der Unterbaumstrukturen erfolgen parallel und sind so gesteuert, daß der Benutzer die Animation in einer Geschwindigkeit verfolgen kann, die unabhängig von der Komplexität der dargestellten Szene seiner visuellen Wahrnehmungskapazität angepaßt ist. Dadurch wird nach Beendigung der Rotation keine Anpassungszeit an die veränderte Darstellung benötigt [Robertson et al. 91]. Während der Drehung verfolgt der Blick automatisch die Baumteile und ihre Beziehung zueinander. Der Benutzer gewinnt damit also unbewußt Erkenntnisse über die strukturellen Beziehungen innerhalb der Menge, indem er den Baum während seiner Rotationen aus verschiedenen Blickwinkeln visuell wahrnimmt. Dadurch wird die kognitive Belastung von der bewußten Wahrnehmung und Interpretation auf das kognitiv sehr viel günstigere unbewußte visuelle Wahrnehmungssystem verlagert. Dies geschieht ähnlich wie ein geübter Autofahrer die anderen ihn umgebenden Verkehrsteilnehmer unbewußt visuell wahrnimmt und ihre räumliche Lage zueinander registriert, ohne ihnen permanent seine volle Aufmerksamkeit zu widmen.

Für Information-Retrieval-Zwecke können entweder einzelne, sichtbare Knoten der Kegelbäume visuell-direktmanipulativ ausgewählt oder durch eine automatische Suchfunktion angesteuert werden. Ist es für die Benutzer nicht erforderlich, einen bestimmten Weg weiter zu verfolgen, so kann der Baum dynamisch "ausgedünnt" werden, d.h. es können einige Zweige entfernt werden, während andere weiter wachsen können. Bezüglich der Menge der darstellbaren Knoten ist das System limitiert. Deutlich dargestellt werden können bis zu 1000 Knoten, 10 Schichten oder ein maximaler Verzweigungsfaktor von 30. Darüber hinaus zeigt sich, daß die Darstellungsweise für sehr gleichförmige Hierarchien weniger gut geeignet ist, da dann die Substrukturen schwerer unterscheidbar sind.

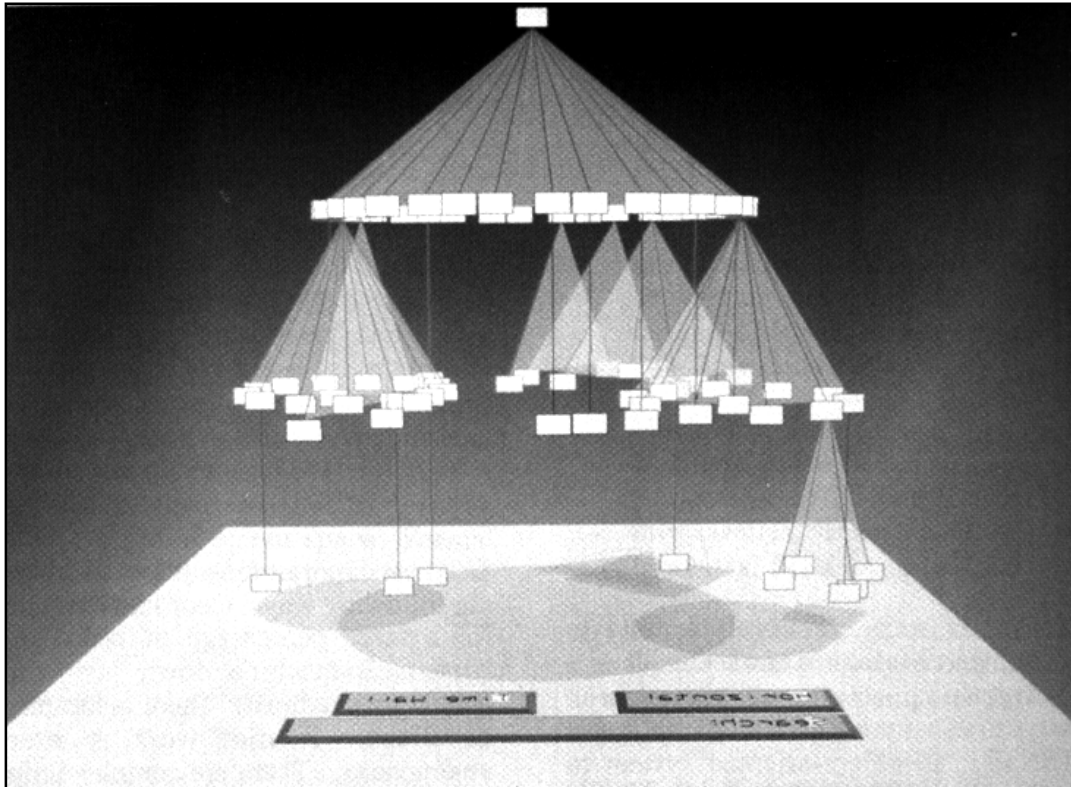


Abbildung 8: Cone-Trees im Information-Visualizer [Robertson et al. 91]

3.1.8 Perspective Wall

Neben der animierten Visualisierung hierarchischer Strukturen bietet der Information Visualizer auch Visualisierungsmöglichkeiten für unstrukturierte und linear strukturierte Informationen. Lineare Strukturen werden durch Projektion auf eine "faltbare" Projektionsfläche visualisiert [Robertson et al. 91].

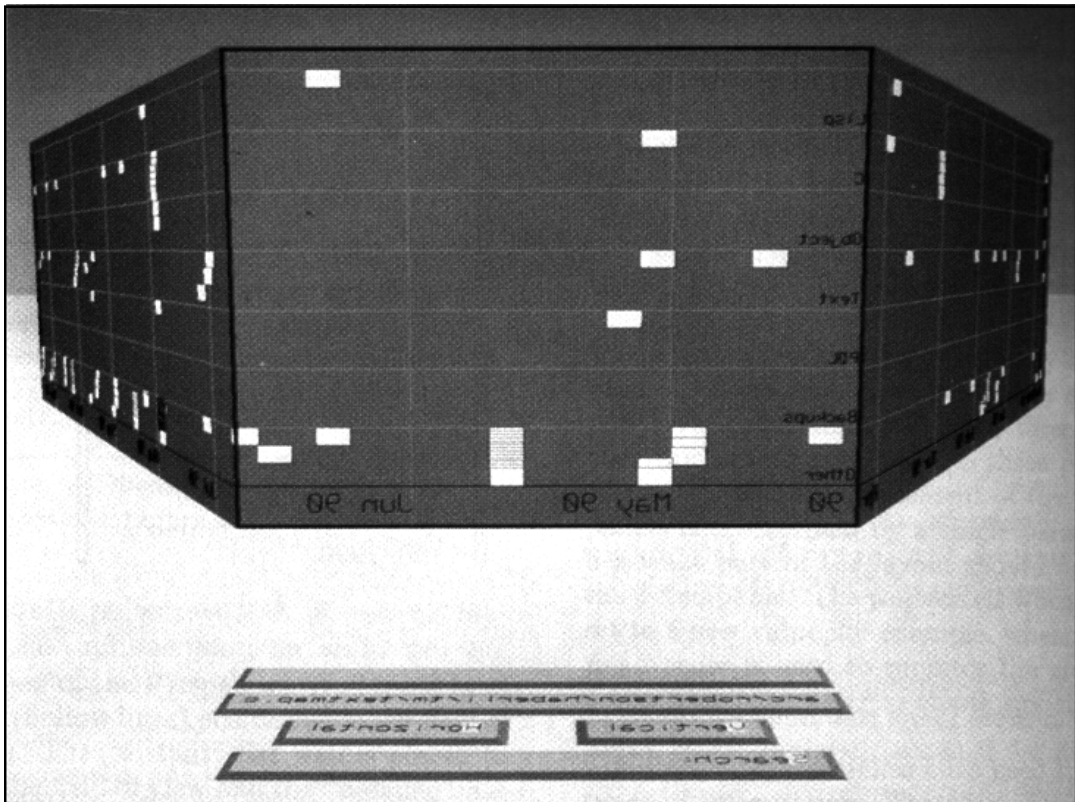


Abbildung 9: Perspective Wall im Information-Visualiser [Mackinlay et al. 91]

Die sogenannte "Perspective Wall"-Visualisierung (siehe Abbildung 9) weist in der Mitte eine Projektionsfläche für die Informationsvisualisierung sowie zwei Projektionswände für die Kontextdarstellung an beiden Seiten auf. Der Vorteil dieser Darstellung liegt in den sanften Übergangsanimationen zwischen Darstellungen verschiedener Auflösungen und Kontexte bzw. Perspektiven in den Inhaltsraum. Dadurch werden ein detaillierter informationeller Fokus und dessen informationeller Kontext auf natürliche Art integriert [Mackinlay et al. 91].

3.1.9 Bead

BEAD [Chalmers & Chitson 92][Chalmers 93] ist ein prototypisches Visualisierungssystem zur Generierung visueller Übersichtsdarstellungen von großen und komplexen Informationsmengen. Im BEAD-Ansatz werden Informationsobjekte durch „Partikel“ im 3-dimensionalen Raum dargestellt. Durch die Verwendung von Abbildungs- und Layoutalgorithmen, die von Modellen für physikalische Effekte (wie z.B. die Funktionsweise von Federmechaniken oder Erhitzungs- und Abkühlungsvorgängen) abgeleitet wurden, können semantische Beziehungen zwischen Informationsobjekten wie

z.B. Textdokumenten berechnet werden. Das bedeutet, daß inhaltliche Beziehungen zwischen Informationsobjekten durch die räumliche Beziehung ihrer Visualisierungsobjekte abgebildet werden. Aufgrund von iterativ simulierten Anziehungs- und Abstoßungseinflüssen der einzelnen Partikel untereinander, werden für jedes Dokument räumliche Partikelpositionen ausgerechnet, die semantisch ähnliche Dokumente näher zueinander positionieren. Auf der Grundlage dieser Positionsrechnung erfolgt dann eine Visualisierung in Form einer Punktwolke oder auf der Grundlage einer Landschaftsmetapher. Das Ergebnis ist eine 2D- oder eine 3D-Szene, die Perspektiven in mehrdimensionale Informationsräume (wie z.B. Kollektionen von Textdokumenten) darzustellen vermag. Alle in BEAD verwendeten Layoutmethoden wenden die Prinzipien der Superposition an, wodurch das Potentialfeld einer Menge von Partikeln innerhalb einem gegebenen Raumbereich, durch ein einziges sogenanntes *Metapartikel* angenähert werden kann.

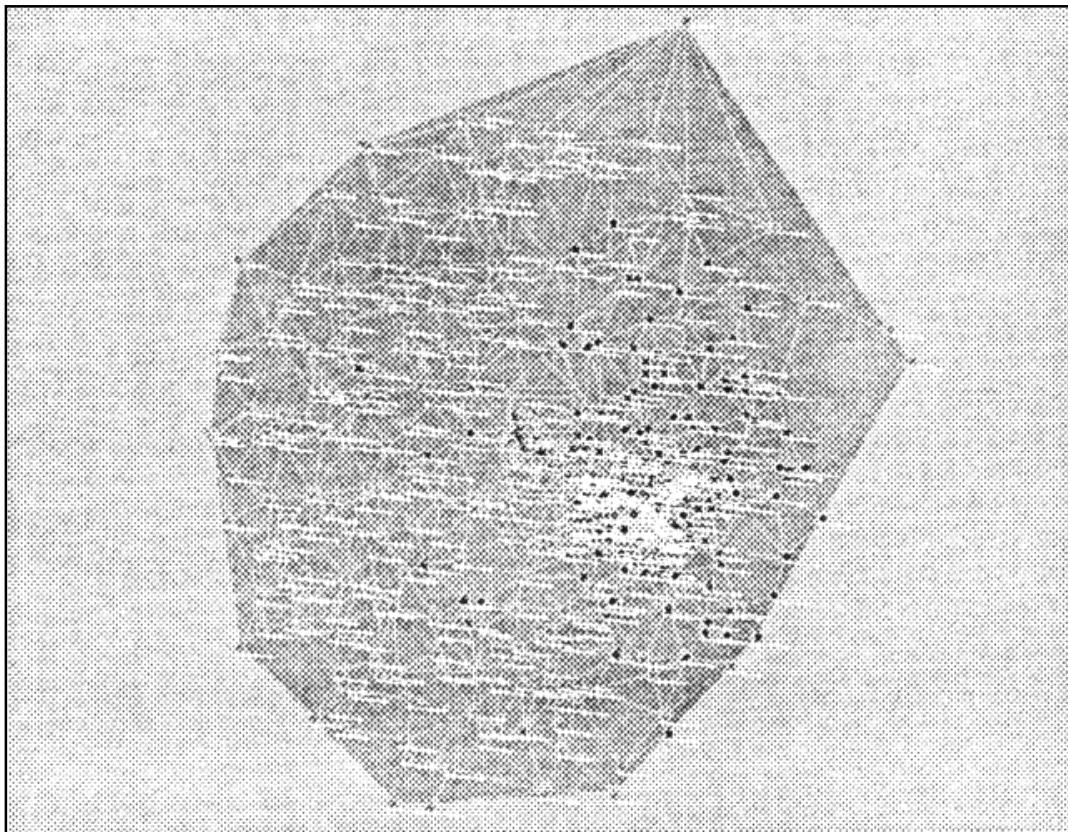


Abbildung 10: Bead-Übersichtsvisualisierung [Chalmers 94]

Innerhalb einiger BEAD-Layoutalgorithmen wird das Modell einer gedämpften Feder verwendet, um Anziehungs- und Abstoßungskräfte zwischen sogenannten *informationellen Partikeln* iterativ für die gesamte Informationsmenge zu berechnen. Wenn die Partikel zu

eng aneinander sind, schiebt die Feder sie auseinander, und wenn sie zu weit entfernt sind, zieht sie diese zusammen. Die Federn arbeiten also in Abhängigkeit von Ihrer Auslenkung, also der Fehlpositionierung der Dokumente innerhalb der Visualisierung, unterschiedlich stark um die korrekte räumliche Distanz zwischen Dokumenten, welche als Metapher für die semantische Dokumentdistanz benutzt wird, wieder herzustellen. Es werden hierarchische räumliche Unterteilungen verwendet, um die Dauer der aufwendigen Interaktionsberechnungen zwischen allen Partikeln der Gesamtmenge zu verkürzen.

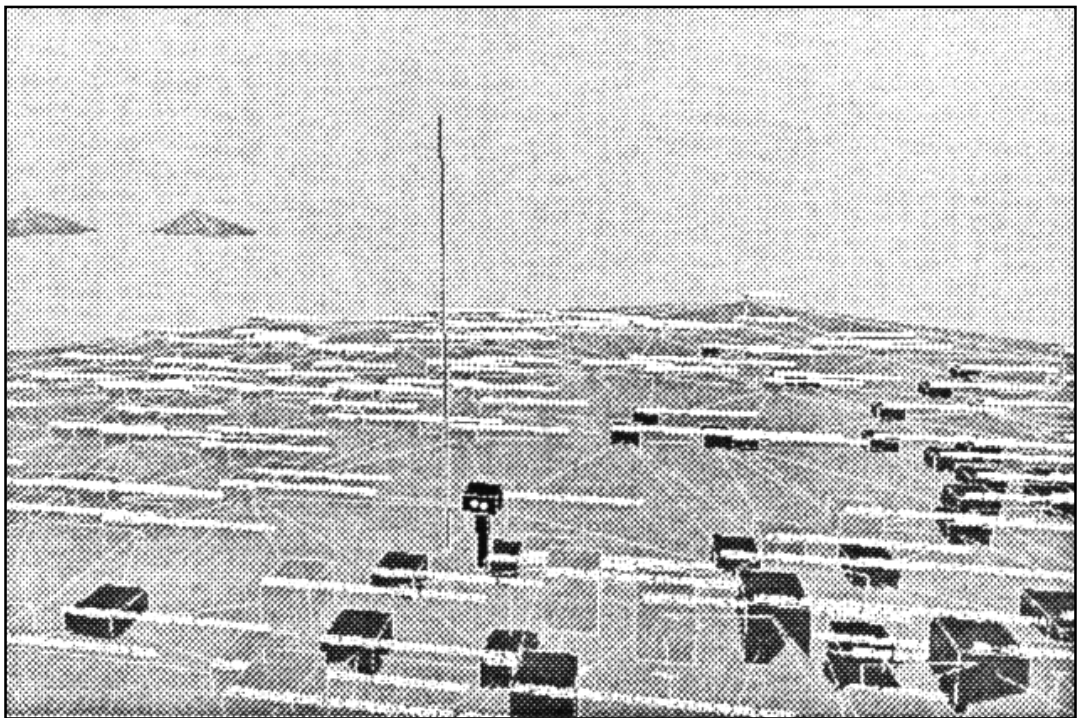


Abbildung 11: Bead-Detailvisualisierung, Landkartenmetapher [Chalmers 94]

Visualisierungen von Räumen hoher Dimensionalität, wie sie besonders zu Beginn der BEAD-Entwicklung verwendet wurden, wirken auf die meisten Endbenutzer unvertraut. Es ist darüber hinaus im allgemeinen schwierig diese computergraphisch darzustellen, sie wahrzunehmen und sich an Muster und Strukturen von visuellen Objekten innerhalb der Visualisierung zu erinnern (siehe zum Beispiel Abbildung 10). Bei Experimenten wurde z.B. als Problem einer anfänglich gewählten 3D-Punktwolken-Darstellung erkannt, daß man schon bei nur drei räumlichen Darstellungsdimensionen unter gewissen Umständen nur schwierig einen Überblick über die gesamten Dokumentmenge erreichen kann. Die potentielle Verdeckung von weiter entfernter Information und der Verlust einer fundamentalen Grundebene sind einige der dafür verantwortlichen Gründe. Weiterhin wurden Benutzungsstudien durchgeführt, welche Eigenschaften eines visuellen

Informationsdesigns für die Orientierung bzw. Navigation von räumlichen Strukturen wichtig sind. Dabei wurde neben dem Punktwolken-Modell im weiteren Verlauf der Untersuchungen insbesondere die Effizienz einer zweieinhalb-dimensionalen Landkartenmetapher analysiert.

Die Kontinuität der Bewegung über einer Landkarte, gekoppelt mit perspektivischem Sehen, erlaubt Benutzern den Aufmerksamkeitsfokus schrittweise bis auf kleinere Gebiete zu verfeinern, während langsam mehr Detailinformation zur Darstellung hinzugefügt werden kann. Man wählt Gebiete aus, um durch Vergrößerungen die dargestellten Details genauer zu untersuchen, entsprechend werden die dadurch entfernteren Gebiete in weniger detaillierter Art und Weise dargestellt. Folgende visuelle Eigenschaften des Landkartenmodells wurden im Laufe der Untersuchung als hilfreich für die Wahrnehmung identifiziert:

- das Einfügen von Orientierungspunkten,
- das Skizzieren von Grenzen zwischen Dokumenthäufungen bzw.
- die farbliche Kodierung von benachbarten Dokumentgruppen,
- die Variabilität des Blickpunktes,
- die perspektivische Darstellung, sowie
- die dynamische Veränderung des Detailgrades.

Zum Vergleich der beiden Metaphern ist zu sagen, daß der größte Vorteil des Punktwolken-Modells seine Genauigkeit ist. Es zeigte sich aber auch die Problematik, daß Benutzer Schwierigkeiten haben, ein mentales Modell zur räumlichen Orientierung in einem Punktwolken-Modell aufzubauen, weil sich entfernte Objekte des öfteren verdecken, keine fundamentale Grundebene vorhanden ist und somit der Überblick über die Gesamtmenge schwierig wird. Ebenso findet der Benutzer zwar gelegentlich interessante Dokumente, kann aber nicht abschätzen, wie relevant die Dokumente, die in weiterer Umgebung liegen, sind. Das Landkartenmodell wirkt auf die Benutzer vertrauter, der realen Welt ähnlicher. Durch den besseren Überblick können Beziehungen deutlich dargestellt werden. Ebenso ist es einfacher sich ein mentales Modell zur Orientierung aufzubauen. Aus diesem Grund fällt den Benutzern die Orientierung, die Navigation und Exploration sowie der Zugriff und die Manipulation auf die Objekte leichter.

3.1.10 Populated Information Terrains

Unter einem "Populated Information Terrain" (PIT) nach [Benford & Mariani 94] wird ein mit Hilfe von Virtual-Reality-Methoden visualisierter Datenraum verstanden. PITs werden zur Realisierung von kognitiv effizienten Benutzungsschnittstellen für Mehrbenutzerdatenbanken entwickelt und untersucht. Visualisierungsgegenstände in PITs sind in der Regel Datentupel relationaler Datenbanken. Neben den Visualisierungsfunktionen erweitert der PIT-Ansatz die Funktionalität von Datenbankbenutzungsschnittstellen um Konzepte aus dem Bereich der computerunterstützten Zusammenarbeit, auf die wir aber im folgenden nur oberflächlich eingehen werden.

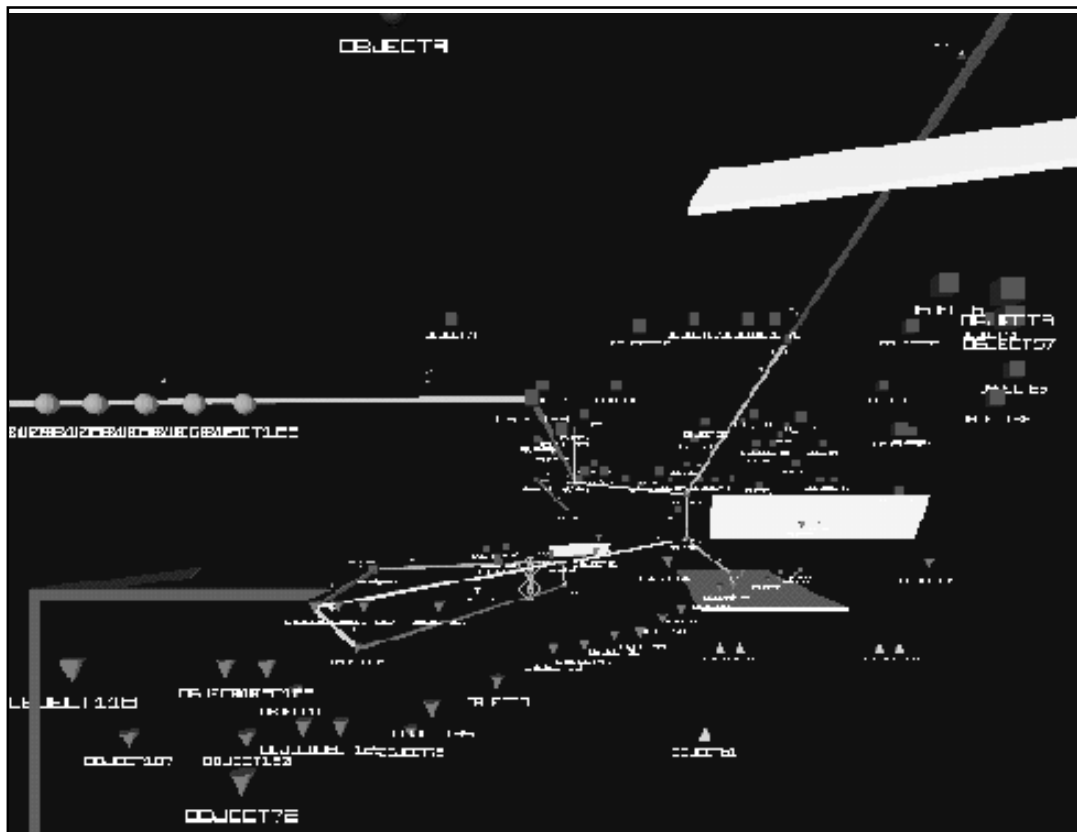


Abbildung 12: QPIT Visualisierung unter LEADS [Ingram 97]

Bevor Benutzer Anfragen an eine Datenbank stellen können, muß zuerst ein Eindruck von der Menge und Komplexität der Struktur der Informationen vorliegen. PITs visualisieren daher Information in dreidimensionalen kartesischen Darstellungsräumen und ermöglichen dadurch einen visuell-direktmanipulativen Zugriff sowie Navigations- und Explorationsaktivitäten auf der Datenmenge. Dabei werden als Visualisierungsmechanismus z.B. dreidimensionale Scatterplot-Algorithmen verwendet

(siehe Abbildung 12). Weiterhin lassen herkömmliche Schnittstellen zu Mehrbenutzerdatenbanken zwar den gemeinsamen Zugriff mehrerer Benutzer auf gleiche Datenbestände innerhalb sogenannter "Concurrency Control"-Regeln zu, eine visuelle Unterstützung von mehreren Benutzern bei der Bewältigung einer gemeinsamen Aufgabe innerhalb einer Informationsmenge bieten sie aber in der Regel nicht an. Im Gegensatz dazu realisieren Populated-Information-Terrains in der Regel die Möglichkeit des Nachrichtenaustauschs und der Kommunikation unter den Benutzern, um z.B. die Zugriffsregelung auf gemeinsam benutzte Daten durch visuell-direktmanipulative auszuhandeln. Da auch die Benutzer selbst in einem PIT als virtuelle Objekte im Datenraum, in dem sie sozusagen eine "Bevölkerung" darstellen, repräsentiert werden, wird das CSCW-Konzept in PITs um Visualisierungskonzepte erweitert, die dem einzelnen Benutzer das Bewußtsein für die Gegenwart und Aktionen anderer Benutzer ermöglichen. Der Benutzer ist sich in einem PIT der Gegenwart und der Aktivitäten anderer Benutzer bewusst. Er sieht sie, da sie, genau wie auch er selbst, ein Objekt und damit ein Bestandteil des virtuellen Datenraumes sind und entsprechend innerhalb der Visualisierung dargestellt werden.

Innerhalb des PIT-Ansatzes werden mehrere grundlegende Dimensionen zur Realisierung einer geeigneten räumlichen Abbildungsfunktion als Grundlage eines interaktiven Informationsvisualisierungsalgorithmus unterschieden. Nach Michael Benedikt [Benedikt 91] lassen sich die Eigenschaften eines Cyberspace unter den fünf Raumdimensionen Orientierung, Kontinuität, Krümmung, Dichte und Grenzen charakterisieren, mit denen u.a. auch ein natürlicher, physikalischer Raum beschrieben wird. Die Betrachtung dieser Dimensionen ist für die Analyse von PITs hinreichend. Daten werden durch Objekte in einem solchen Cyberspace verkörpert. Sie werden in einem benediktinisch berechneten Raum auf sogenannte „extrinsische“ und „intrinsische“ Dimensionen von Objektattributen abgebildet. Dabei bezeichnen die extrinsischen Dimensionen den Ort eines Objektes. Durch die intrinsischen Dimensionen dagegen werden zu Objekten gehörende Eigenschaften durch Farben, Formen, Größe, Rotations- und Vibrationsfrequenz sowie Klänge oder andere sensorische Reize abgebildet. Der benediktinische Ansatz ist besonders dann sinnvoll anwendbar, wenn der zu visualisierenden Datenbasis ein wohlstrukturiertes Schema zugrunde liegt. Dies ist insbesondere bei relationalen Datenbanken der Fall, wo die durch die Schemadefinition der Datenbank festgelegten Attribute leicht auf extrinsische und intrinsische Dimensionen abgebildet werden können.

Am besten auf verschiedene Dimensionen abbildbar sind Ausprägungen von Attributen, die eine natürliche Ordnung aufweisen. Dazu zählen in erster Linie numerische Werte. Text ist nur solange gut nach diesem Konzept abbildbar, wie kein anderer Zusammenhang zwischen den einzelnen Ausprägungen zu erwarten ist, als die natürliche Sortierreihenfolge bestimmter Attribute. Ein einfaches Beispiel für einen Abbildungskonflikt bilden Schlüsselwörter in Publikationen bei einer Bibliotheksverwaltung. In einer derartigen Anwendung kann z.B. die räumliche Nähe von zwei visuellen Ausprägungen, die Dokumente symbolisieren, auf einer alphabetisch sortierten Achse nur sehr wenig über die Beziehung der zugrunde liegenden Dokumente des Bibliothekskorpus aussagen. Eine zusätzliche Einschränkung erfährt der benediktinische Ansatz dadurch, daß er sich nicht uneingeschränkt auf Attribute anwenden läßt, die mehrere Werte gleichzeitig haben können. Es muß also Atomizität gefordert werden.

PIT realisiert darüber hinaus das Prinzip der direkten Manipulation [Shneiderman 92]. Denkbar ist hierbei, z.B. durch Bewegen der Objekte, die im virtuellen Datenraum die Datenbanktupel repräsentieren, die Ausprägungen der Attribute zu verändern. Die neuen Attributwerte des jeweiligen Tupels sind sofort aus der neuen Position in den extrinsischen Dimensionen ersichtlich. Die Eigenschaft der Eindeutigkeit eines Datenbankschlüssels kann direkt mit dem Konzept der Informationsvisualisierung nach Benedikt in Verbindung gebracht werden. Ist es möglich, eine Abbildung des Schlüssels auf die drei extrinsischen Dimensionen zu finden, so ist sichergestellt, daß jedes Objekt, das ein Datenbanktupel repräsentiert, eine eindeutige Position im virtuellen Datenraum einnimmt. Diese Aussage korrespondiert mit den Prinzipien des Ausschlusses und des maximalen Ausschlusses Benedikts [Benedikt 91]. Das Ausschlußprinzip verbietet Objekte mit demselben Ort in den extrinsischen Dimensionen zur gleichen Zeit. Der maximale Ausschluß fordert, eine Attributabbildung auf extrinsische Dimensionen so vorzunehmen, daß Verletzungen des Ausschlußprinzips minimiert werden. Anders ausgedrückt fordern diese beiden Prinzipien, die extrinsischen Dimensionen so zu wählen, daß eine räumliche Trennung der Objekte weitestgehend gewährleistet werden kann. Häufig jedoch wird als Datenbankschlüssel eine eindeutige Identifikationsnummer definiert, deren Abbildung auf extrinsische Dimensionen das eigentliche Ziel von PITs, die Verbesserung des Browsing in Datenbanken, nicht unterstützt, sondern darauf einen eher negativen Effekt hat. Von [Benford & Mariani 94] wird daher gefordert, die Abbildung eines Datenbankschlüssels auf die extrinsischen

Dimensionen zu vermeiden und stattdessen räumliche Ballungszentren der Objekte durch Veränderung der Attributabbildung aufzulösen.

3.1.11 Butterfly

Das am Xerox-PARC entwickelte Butterfly-System [Mackinlay et al. 95] realisiert eine Anwendung zur Recherche in bibliographischen Datenbanken. Basierend auf gegenseitigen Referenzierungen der Dokumente untereinander werden zur Unterstützung des Informationsdialoges dynamisch Visualisierungen generiert. Experimente zeigen, daß Butterfly den Benutzer bei komplexen bibliographischen Suchen erheblich unterstützen kann. Abbildung 13 zeigt eine Anwendungsszene des Butterfly-Visualisierungssystems.

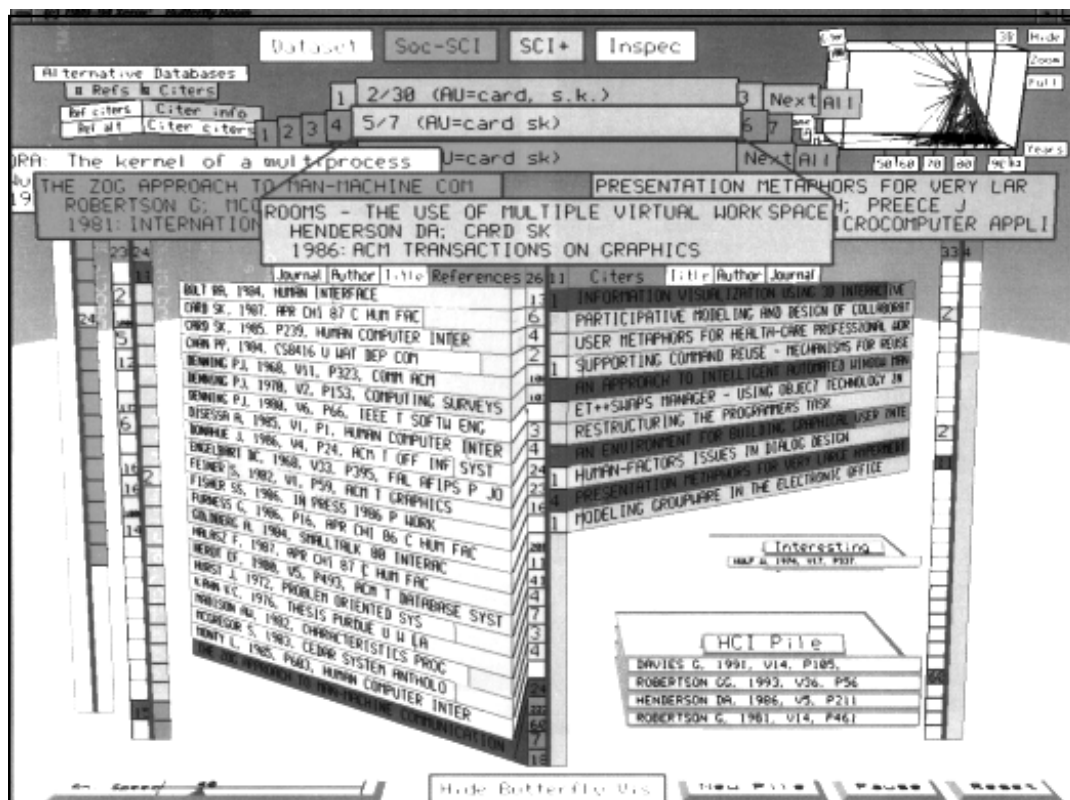


Abbildung 13: Butterfly-Visualisierung einer Literatursuche

Ziel des Butterfly-Visualisierers ist es, die Vorteile einer leicht verständlichen Browsing-Strategie mit der Mächtigkeit von Volltext-Information-Retrieval-Anfragen in einer visuell-direktmanipulativen Benutzungsschnittstelle zu integrieren. Es wird deshalb die Entwicklung einer sogenannten "organischen Benutzungsschnittstelle" [Mackinlay et al. 95] vorgeschlagen. Der Butterfly-Visualisierer implementiert eine solche Benutzungsschnittstelle zum Suchen von bibliographischer Information über

Dokumentreferenzen in großen Online-Datenbanken über Datennetzverbindungen. Bei der Datenbankanwendung, die dem Butterfly-System zugrundeliegt, handelt es sich um ein mit verschiedenen Konzepten von bibliographischen Informationen wie z.B. Artikelnamen, Personen, Veröffentlichungen, Zeitschriften, Institutionen oder Referenzrelationen ausgestattetes Datenbankschema. Butterfly implementiert darauf aufbauend ein visuell-direktmanipulatives Hypertextsystem, welches bibliographische Informationsobjekte dynamisch miteinander verknüpft darstellt.

Innerhalb der Butterfly-Visualisierungen werden Anfrage-, Navigations- und Explorationsfunktionalitäten kombiniert. Benutzer starten ihre Suche durch die Eingabe einer formalen Anfrage, um zunächst Startdokumente eines bestimmten Themas zu erhalten. Mit Hilfe der Visualisierungskomponenten der Benutzungsschnittstelle führen sie dann explorativ über die Referenzen der Dokumente den eigentlichen Informationsdialog durch. Der Butterfly-Informationsvisualisierer verwendet Farbkodierungen um die Quelldatenbanken der Dokumente zu kennzeichnen. Da die Ergebnismenge der Anfragen oftmals zu groß ist, um komplett dargestellt werden zu können, werden die einzelnen Ergebnisse schrittweise in der Gestalt von Schichten einer Pyramide visualisiert. Die pyramidenförmige Darstellung verbraucht dabei wenig Platz und die Ordnung der einzelnen Objekte innerhalb der Verknüpfungsstruktur bleibt trotzdem erhalten. Dabei ist jeweils nur die oberste Schicht, also das aktuelle Anfrageergebnis sichtbar. Direkt unter den Pyramiden wird das aktuelle Dokument des Anfrageergebnisses in Form eines sogenannten „Schmetterlings“ dargestellt. Weitergehende Ergebnisse bezüglich der Verknüpfung von Dokumenten durch Referenzen sind mittels eines sogenannten "multi threaded", also eines parallelen Anfrageprozesses, welcher sequentiell alle Informationen über das aktuelle Dokument sucht und bewirkt, daß sich die entsprechende Butterfly-Informationsvisualisierung des Dokumentes darunter füllt, erzielbar. Der "Kopf" der Butterfly-Visualisierung beinhaltet den Titel, den Autor, das Erscheinungsjahr und die Zeitschrift des Artikels.

Der linke "Schmetterlingsflügel" listet die gefundenen Referenzen des Dokumentes auf weitere Dokumente auf und stellt deren Information dar. Wenn die Anzahl der Referenzierungen auf ein Dokument dabei bekannt ist, so wird diese Zahl mit angegeben und die entsprechende Zeile wird durch einen entsprechend langen farbigen Balken visualisiert. Dies soll dem Benutzer besonders relevante Dokumente aufzeigen. Auf dem rechten Schmetterlingsflügel werden diejenigen Dokumente dargestellt, welche auf das

aktuelle Dokument verweisen, es also zitieren. Dem Benutzer ist es während des Informationsprozesses möglich, die auf den Flügeln dargestellten Dokumente anzuklicken, um dann zu deren Butterfly-Informationvisualisierungen zu gelangen. Derart bereits besuchte Dokumente werden dem Benutzer als Schmetterlinge mit "zusammengefalteten Flügeln" und kleinem Kopf visualisiert. Links vom aktuellen und geöffneten stehen diejenigen, die von ihm referenziert werden, die rechtsstehenden verweisen auf den aktuellen Schmetterling. Da die Referenzierungen der Dokumente untereinander komplexe Graphstrukturen besitzen, ist es möglich, daß es zu einem bestimmten Dokumentenschmetterling mehrere Explorationswege existieren. Deshalb wird auch in dem Schmetterlingsflügel durch Farbkodierung dargestellt, ob, wann und woher ein bestimmter Artikel vom Benutzer bereits besucht wurde. Wenn dies der Fall ist, so wird die entsprechende Zeile dunkel dargestellt, wie der erste Artikel auf dem rechten Flügel. Artikel, welche direkt vom aktuellen Dokumentenschmetterling aus besucht wurden, werden farblich besonders hervorgehoben. Die Länge dieses Farbbalkens gibt die Besuchsreihenfolge an, Dokumente mit langem Balken wurden erst kürzlich besucht. Dem Benutzer wird es darüber hinaus ermöglicht, das entsprechende Erscheinungsbild der Visualisierung mittels verschiedener Buttons im "Genick" des Schmetterlings zu beeinflussen. Die maximal darstellbaren Dokumentanzahl pro Flügel ist jedoch auf 22 begrenzt.

In der oberen rechten Ecke der visuellen Benutzungsschnittstelle befindet sich eine sogenannte Scatterplot -Darstellung zur Visualisierung einer Gesamtübersicht über alle gefundenen Dokumente. Die Achsen des dabei verwendeten 3D-Darstellungsraumes beschreiben das Erscheinungsjahr des Dokumentes, den Nachnamen des ersten Autors (alphabetisch sortiert) sowie die Anzahl der Referenzierungen auf das Dokument, welches als Punkt im Raum markiert ist. Referenzen zwischen einzelnen Dokumenten werden als Linien zwischen den Dokumentpositionen dargestellt. Das aktuelle Dokument mit seinen Referenzen wird in farblich hervorgehoben gezeichnet. Der Scatterplot stellt somit eine komplette Sicht des innerhalb des Suchprozesses vom Benutzer erforschten komplexen Suchgraphs dar. In der unteren Hälfte des Butterfly-Visualisierers befindet sich noch ein Stapel der zum Kennzeichnen und Ablegen von interessanten Dokumenten dient. Durch das Anklicken eines "Schmetterlingskopfes" wird in einem Textfenster weitere Information dargestellt, welche im Stapel platziert oder lokal auf der Platte abgelegt werden kann, so daß ein Datenaustausch mit anderen Anwendungen erfolgen kann.

Weiterhin gibt es unterhalb der Schmetterlinge noch zahlreiche Kontrollbuttons, z.B. zum Einstellen der Flügelneigung, zum Kreieren von neuen Stapeln, zum Verstecken von Schmetterlingen oder zum Beeinflussen der Datenbankverbindung sowie Einflußmöglichkeiten auf die parallelen Anfrageprozesse. Da Anfragen an die Online-Datenbanken etwa 4 bis 10 Sekunden benötigen und diese Wartezeiten vom Benutzer als störend empfunden werden, besitzt Butterfly eine "animation loop" -Architektur, welche diese Zeitspannen in Form von Animationen der Darstellung überbrückt. Die aus dem "Cognitive Coprozessor"-Konzept des Information-Visualizer-Projektes stammende Methode benutzt also im Butterfly-Visualisierungssystem ebenfalls Animation, um Übergänge und Veränderungen innerhalb einer visuellen Benutzungsschnittstelle darzustellen. Diese sind für den Benutzer wesentlich besser nachzuvollziehen als blitzartige Veränderungen im Erscheinungsbild der Visualisierung.

3.2 Resultierende Anforderungen

[Cooper 71a] urteilte bereits 1971: "Retrieval systems are supposed to be useful. It is their utility, not their beauty, complexity, or modernity, which counts.". Eine den kognitiven Bedürfnissen der Benutzer angepaßte Benutzungsschnittstelle muß eine beliebig strukturierte Abfolge von einzelnen Benutzeraktivitäten innerhalb eines oder mehrerer quasi paralleler Informationsdialoge sowie eine erneute Behandlung, nachträgliche Veränderung oder Verknüpfung derselben erlauben, ohne daß die Benutzer den Überblick über ihre eigenen und die Aktivitäten des Systems verlieren. Dabei darf durch die Bedienung des Systems kein unnötiger kognitiver Aufwand bei den Benutzern erzeugt werden. Die Transparenz des Systems steht an erster Stelle der Anforderungen an einen kognitiv effiziente Benutzungsschnittstellengestaltung. Transparenz erfordert die Befreiung der Benutzer von der Notwendigkeit, die internen Funktionalitäten des DBMS oder der Information-Retrieval-Engine zu kennen, um erfolgreich Informationsaktivitäten betreiben zu können. Mit anderen Worten, die Benutzer sollten in die Lage versetzt werden, den Inhalt einer Datenbank zu untersuchen, indem sie so oft wie möglich inhaltsorientiert vorgehen können und so selten wie möglich organisatorisch ordnend oder kontrollierend auf die Systemtechnik einwirken müssen. Gleichzeitig sollten die Benutzer so stark wie möglich von Interpretationsaufgaben befreit werden. Durch die Benutzungsschnittstelle sollten somit Informationsobjekte *und* die Informationsfunktionen des Systems auf eine Art und Weise kommuniziert werden, die den Benutzern eine

natürliche und damit effiziente Wahrnehmung, Auswertung und Weiterverarbeitung derselben erlaubt.

Als Gemeinsamkeit aus der Perspektive der Benutzungsschnittstelle ist bei allen bisher in den ersten drei Kapiteln genannten Datenbank- und Information-Retrieval-Systemen sowie in den in diesem Kapitel vorgestellten ersten prototypischen Ansätzen zu interaktiven Informationsvisualisierungssystemen festzustellen, daß gewichtete und ungewichtete Verknüpfungen zwischen Anfrage- und Ergebnisdaten unterschiedlicher Datentypen und struktureller Komplexität die grundlegenden Gegenstände des Informationsdialoges, also der Kommunikation des Benutzers mit dem computerbasierten Informationssystem bilden. Das innerhalb dieser Arbeit zu definierende Informationsmodell soll diese Kommunikation mit Hilfe visuell-direktmanipulativer Mechanismen ermöglichen und unterstützen. Dieses Modell werden wir im weiteren Verlauf als "interaktives Informationsvisualisierungsmodell" bezeichnen.

Zur systemtechnischen Repräsentation und Verarbeitung der innerhalb eines interaktiven Informationsdialoges kommunizierten Information, werden in Datenbank- und Information-Retrieval-Systemen in der Regel unterschiedlich stark strukturierte Anwendungsdatenschemata verwendet. Diese sind folglich mit Hilfe eines adäquaten interaktiven Informationsvisualisierungsmodells innerhalb einer visuell-direktmanipulativen Benutzungsschnittstelle als Gegenstand der Visualisierung zu in eine Bilddarstellung zu überführen. Darüber hinaus sind mögliche Systemfunktionen auf diesen Informationsmengen zu visualisieren und Benutzerinteraktionen mit diesen Visualisierungen sind vom System als informationelle Dialogakte zu interpretieren und in Form neuer Visualisierungen zu beantworten.

Eine weitere wichtige Eigenschaft innerhalb des angestrebten interaktiven Informationsvisualisierungsmodells ist eine integrierte Kontrollmöglichkeit der Benutzer über den Dialogverlauf und dessen informationellen Kontext, also die Erzeugung und Verwaltung einer Menge von visuellen Daten- und Dialogobjekten, die visuell direktmanipulativ bearbeitet werden können. Außerdem müssen diverse Dialogtechniken, wie etwa das "Pipelining"-, "Cut and Paste"- sowie "Feedback"-Funktionalitäten, die es Benutzern erlauben, Teile der Kontextmenge auf eine effiziente Art und Weise innerhalb des Informationsdialoges wiederzuverwenden, ermöglicht bzw. effizient unterstützt werden.

Als Gegenstände des Informationsdialoges lassen sich Informationsanforderungen und Ergebnisse sowie die daraus resultierenden Aktivitäten auf Dialogstrukturen und -kontexten identifizieren. Im folgenden Modellbildungskapitel werden auf diesen ersten Beobachtungen aufbauend eine Reihe von Aufgaben und Funktionen, die innerhalb eines visuell-direktmanipulativen Informationsdialoges auftreten können, aufgezeigt. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird eine Unterstützung dieser Aufgaben und Funktionen exemplarisch mit Hilfe von generischen Informationsvisualisierungsmodellen operationalisiert. Zur Evaluation potentieller Integrationsmöglichkeiten werden diese Komponenten dann innerhalb von prototypischen Realisierungen einiger visuell direktmanipulativer Informationssystemanwendungen miteinander integriert.

Eine Unterstützung für die Aufgaben und Funktionen eines Informationsdialoges läßt sich ausgehend von den Designanforderungen an die Transparenz- bzw. Sichtbarkeit von Objekten und Funktionen innerhalb der Benutzungsschnittstelle in verschiedene Richtungen entwickeln. Im folgenden werden wir uns zuerst ein erweitertes Modell für den Informationsdialog zwischen Benutzern und dem Informationssystem vorstellen. Zur Unterstützung der einzelnen Teilaufgaben der Benutzer wird darauf aufbauend ein generisches Informationsvisualisierungsmodell definiert. Anhand dieses Modells werden danach konkrete Instanziierungen von Informationsvisualisierungsmodellen zur Unterstützung spezifischer Aufgabenstellungen innerhalb des Informationsdialoges entworfen.

4 Das Interaktive Informationsvisualisierungsmodell

Aus Sicht der Benutzer besteht der computerunterstützte Informationsprozeß aus einem interaktiven Dialog mit dem Computersystem, der die Wahrnehmung und Verarbeitung einer geeigneten Informationsmenge durch die Benutzer zum Ziel hat. Dieser Informationsdialog besteht aus einer Folge von Informationsanforderungen der Benutzer, Informationsangeboten des Systems sowie Klärungs- und Bewertungsaktivitäten beider Dialogpartner [Sitter & Stein 92]. In jedem Dialogschritt findet also entweder eine Aktivität der Benutzer oder des Systems statt, die im Zusammenhang mit bereits früher im Dialog aufgetretenen Informationsaktivitäten zu sehen ist. Der Informationsdialog zwischen Benutzern und dem Information-Retrieval-System ist somit ein interaktiver Prozeß mit potentiellen Unterdialogen. Dabei beeinflussen die Benutzer die automatischen Suchmechanismen des Information-Retrieval-Systems und damit die Größe und den Inhalt der Ergebnismengen des Dialoges solange (z.B. durch schrittweise Modifikation der Anfrage), bis diese ihrem Informationsbedürfnis entsprechen. Im einfachen, idealisierten Modell des klassischen Information-Retrieval führt jeder neue Dialogschritt zu einer Verbesserung der Erfüllung des Informationsinteressen bzw. der Zufriedenheit der Benutzer. In der Praxis besteht jedoch keine Garantie dafür, daß sich ein Information-Retrieval-System in dieser idealen Weise verhalten wird. So können zwei für einen Benutzer subjektiv sehr ähnliche Anfragen zu gänzlich verschiedenen Ergebnismengen führen und umgekehrt zwei subjektiv stark verschiedene Anfragen eine nahezu identische Ergebnismenge zur Folge haben. Da die Benutzerinteressen und die informationellen Inhalte des Systems nicht immer eindeutig aufeinander abbildbar sind, bleibt den Benutzern oft die Unsicherheit oder Frustration, möglicherweise in der Datenbank des Systems vorhandene relevante Information nicht erhalten zu haben. Darum definieren sich die Anforderungen an ein Informationssystem nicht nur als Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Information-Retrieval-Systems, sondern auch als Anforderungen an eine flexible und transparente Dialogführung an der Benutzungsschnittstelle. Um die Benutzer darin zu unterstützen, ihre Probleme und Aufgaben effektiv und adäquat zu lösen, muß die Benutzungsschnittstelle eine sichere Erschließung der Funktionalität des Information-Retrieval-Systems und auf der Basis dieser Funktionalität der Inhalte der Datenbank erlauben.

Um die in Kapitel 3 hergeleiteten Anforderungen an eine interaktive und visuell-direktmanipulative ausgelegte Benutzungsschnittstelle zu konkretisieren, wird im folgenden die Benutzung von Informationssystemen untersucht. Die Modellbildung wird dabei auf der Basis einer Kategorisierung von Informationsmengen [Hemmje et al. 94b] und dem Modell eines interaktiven Informationsdialoges mit einem Information-Retrieval-System [Hemmje et al. 96] durchgeführt. Beide Modelle werden aufbauend auf den aktuellen Stand der Forschung in diesem Bereich und auf der bereits dargestellten Basisfunktionalität von Datenbank- und Information-Retrieval-Systemen definiert. Das anschließend abgeleitete Modell der interaktiven Informationsvisualisierung bildet den Ausgangspunkt für eine im nachfolgenden Kapitel durchgeführte exemplarische Operationalisierung des Modells.

4.1 Information durch interaktive Information-Retrieval-Dialoge

Solange die Computersysteme sich auf Stapelverarbeitungsmethoden im Sinne des "Batch Processing" beschränkten, dominierte der Rechner das Systemdesign. Erste interaktive Informationsverarbeitungssysteme wurden Ende der 60er Jahre mit der Entwicklung und Installation von "Time Sharing"-Systemen [Smith 82] realisiert. Für den Anwendungsbereich Informationssysteme ergaben sich damit neue Perspektiven [Maron 82], denn "interaktives Information-Retrieval" wurde erstmals möglich. Es kam zu einem Wachstum bei sogenannten "Online-Information-Retrieval-Systemen" [Smith 82]. Nicht unwesentlich für deren Erfolg waren auch Verbesserungen bei der Terminaltechnik, da die Information auf interaktiven Bildschirmen ausgegeben werden konnte [Barracough 77]. Die Möglichkeit, Endbenutzern über eine interaktive Terminalschnittstelle Online-Systeme zur Verfügung zu stellen, veränderte vor allem das Forschungsgebiet Information-Retrieval nachhaltig [Salton 87]. Beim Entwurf eines Information-Retrieval-Systems im Sinne eines Informationssystems für "naive" Benutzer müssen die tatsächlichen Endbenutzer der Information, im Gegensatz zu professionellen Informationsvermittlern (Rechercheure, Bibliothekare etc.), mit in Betracht gezogen werden [Barracough 77]. Etwa zur gleichen Zeit wurde erkannt, daß interaktive Informationsprozesse mit computerbasierten Informationssystemen an Problemen der Benutzungsschnittstellen dieser Systeme scheitern können [Lancaster 68]. Man hatte sich verstärkt mit einer Reihe von neuen Problemen

(z.B. Benutzerverhalten, Verwendbarkeit von Anfragesprachen, Sitzungs- und Schulungskosten" usw.) auseinanderzusetzen. Mit dem Verschwinden der Stapelverarbeitung veränderte sich sowohl das Informationsverhalten der Benutzer als auch die Anforderungen der Systeme an die Benutzer. Die schnelle Abarbeitung einer Anfrage und deren mehrmalige Korrektur wurden eher der Regelfall als die Ausnahme [Robertson & Hancock-Beaulieu 92]. In gewisser Weise stellte dies eine Rückkehr der sogenannten "Browsing"-Strategie, also eines eher explorativen Vorgehens, in den Informationsprozeß dar [Lancaster 68]. Jedoch mußte jeder Benutzer, der in mehreren Datenbanken suchen wollte, die verschiedenen Anfragesprachen beherrschen oder permanent eine Vielzahl von Manuals im Zugriff halten [Morissey 82]. Da Studien darauf hinweisen, daß die Einfachheit des Zugangs zu Informationsquellen der entscheidende Faktor bei ihrer Auswahl ist [Lancaster 79], führte die Tatsache, daß mehr und mehr zahlende Endbenutzer die Systeme verwenden sollten, zu einem Umdenken in Richtung sogenannter "benutzerfreundlicher" Schnittstellen [Barraclough 77][Shneiderman 78]. Eine stärkere Berücksichtigung ökonomischer Gesichtspunkte wie etwa der "Produktivität" und "Marktfähigkeit" der Systeme machten es unerläßlich, mit den Entwicklungen auf ein größtmögliches Publikum abzielen. Es wurde wichtig, die Unterschiede unter den Benutzern in sogenannten "Benutzerstereotypen" zu erfassen und die Systemkomponenten zu untersuchen, auf welche diese Unterschiede Auswirkungen haben können [Borgman 87].

4.2 Unterstützung von Wahrnehmung und Kognition

In den 80er Jahren setzte in der Entwicklung von Informationssystemen ein erneutes Umdenken hin zu den sogenannten "kognitiven" Prozessen der Benutzer in der Informationsverarbeitung und damit zur Untersuchung der Benutzer, ihrer Aufgaben und ihrer Interaktionen mit dem System auf kognitiver Ebene ein [Saracevic et al. 88]. Bis dahin war das vorherrschende Modell des Information-Retrieval das eines Kommunikationsprozesses, bei dem eine Nachricht von einer Quelle (dem System) zu einem Bestimmungspunkt (den Benutzern) übermittelt wurde. Nun verschob sich der Blickpunkt weg von reinen Kommunikationsmechanismen hin zu den mentalen Prozessen der Benutzer als einem Bestandteil des Gesamtsystems. Auch in den konzeptuellen Systemmodellen wird seither das menschliche "Informationsverhalten" stärker berücksichtigt [Belkin & Vickery 85][Schamber et al. 90]. Das informationstechnische

Forschungs- und Entwicklungsproblem verlagerte sich somit von der ausschließlichen Repräsentation und Verarbeitung von Relevanz von Information hin zur Modellierung, Repräsentation und automatischen Verarbeitung anderer, weitergehender Aspekte und Kriterien im Informationsdialog. Ein derartiger Aspekt ist u.a. die Berücksichtigung des Kriteriums der Nützlichkeit von Information in einem Problemkontext [Saracevic 75], d.h. dem Grad der Verwendbarkeit von Dokumenten zur Problemlösung und Aufgabenerfüllung durch die Benutzer. Relevanz als alleiniges Erfolgskriterium zu verwenden, geriet damit erneut und stärker als je zuvor in die Diskussion. Darüber hinaus ist das genaue Wesen des Konzeptes der Relevanz selbst bis heute eines der umstrittensten Themen der Information-Retrieval-Forschung geblieben. Weder kann ein Einvernehmen über eine genaue Definition des Relevanzbegriffes im Sinne einer kognitiven und damit dem Menschen vorbehaltenen Bewertungsfunktion erzielt werden, noch ist eine grundsätzliche Einordnung des Relevanzbegriffes als Kriterium im Spektrum weiterer Erfolgskriterien (Zufriedenheit, Nützlichkeit, Benutzbarkeit, Erlernbarkeit usw.) für Informationssysteme erfolgt. Im Verlauf der letzten 10 Jahre hat sich jedoch immerhin ein Konsensus dahingehend durchgesetzt, daß von Benutzern formulierte Anfragen nicht mehr automatisch mit deren Informationsbedürfnissen gleichgesetzt werden dürfen und daß Relevanzbewertungen auch anhand der tatsächlichen Probleme und resultierenden Informationsbedürfnisse und nicht nur ausschließlich anhand der formalen Benutzeranfragen an das System definiert werden müssen. Da diese Vorgehensweise entweder valide Aussagen über die mentalen Wissens- und Informationsbewertungsmodelle des Menschen oder zumindest eine genaue Beobachtung der Bedürfnisse desselben erfordert, erfährt hier der Informationssystembegriff als solcher eine zusätzliche Erweiterung und schließt die menschlichen Informationssuchenden mit ein. [Robertson & Hancock-Beaulieu 92] schlagen z.B. vor, für den Basisalgorithmus des Information-Retrieval-Systems, also den automatischen Suchmechanismus im engeren klassischen Information-Retrieval-Verständnis, konsequent nur noch den Terminus "Mechanismus" zu verwenden. Dadurch wird eine ausreichende Abgrenzung zum nun weiter gefaßten Gesamtsystem erreicht. Wir werden im folgenden den bereits eingeführten Begriff "Information Retrieval Engine" oder "Information-Retrieval-Mechanismus" mit der gleichen Abgrenzungsentention verwenden.

Für den Bereich der Evaluation von Informationssystemen hat die oben beschriebene Erweiterung des konzeptuellen Modells ebenfalls weitreichende Konsequenzen. Das

klassische Systemmodell besteht aus dem Information-Retrieval-Mechanismus und der relativ geringen damit verbundenen menschlichen Aktivität. Der "Input" dieses Systems wiederum besteht in der eingegebenen formellen Anfrage, das Ergebnis aus den von der Information-Retrieval-Engine im Mustererkennungsprozeß aufgefundenen informationellen Objekten. Die Evaluation der Systemperformanz wurde durch einen subjektiven Vergleich, möglichst durch einen unabhängigen Gutachter, jedes aufgefundenen Dokumentes mit der Anfrage erreicht. Diesem einfachen Paradigma folgend, wurde das System als eine "Black Box" betrachtet, bei dem nur Anfrage und Ergebnis sichtbar waren. Obwohl der Prozeß der Informationsgewinnung noch immer als ein geschlossenes "System" betrachtet wird, fällt es zunehmend schwerer, die Grenzen dieses Systems zu bestimmen [Robertson & Hancock-Beaulieu 92]. Nach der "Anomalous-State-of-Knowledge-Theorie" (ASK-Theorie) von Belkin [Belkin et al. 82a][Belkin et al. 82b], wird als Grund für das Informationsbedürfnis des Benutzers ein anomaler Wissenszustand (ASK) betrachtet. Hierbei werden Benutzer mit einem mangelhaften oder fehlenden Wissen quasi zum Ausgangszustand des Systems. Das System umfaßt alle Interaktionen der Benutzer mit dem Information-Retrieval-Mechanismus und das Ergebnis sind wiederum die Benutzer selbst, lediglich mit einem veränderten kognitiven Zustand [Robertson & Hancock-Beaulieu 92]. Ziel des Information Retrieval ist es somit, die Anomalien im Wissensstand einer Person aufzulösen [Belkin et al. 82a][Belkin et al. 82b]. Informationsverhalten resultiert somit aus der Erkenntnis eines Informationsbedürfnisses durch den Benutzer [Williams 71]. Der Informationsprozeß ist damit die Aktivität, eine nützliche Verwendung relevanter Daten dahingehend zu erreichen, den Wissensstand des Benutzers hinsichtlich eines bestimmten Problems oder Themas zu verbessern [Kuhlthau 91].

Die dazu notwendigen Informationen können vom Benutzer auf verschiedene Weisen akquiriert werden. Information kann aus der existierenden Menge des direkt zugänglichen, gespeicherten Wissens gewonnen oder durch intelligente Analysen, Bewertungen und Schlußfolgerungen daraus abgeleitet werden. Dieser Sichtweise folgend, die den Benutzer und sein Problem, seine Aufgabe, seine Wissenslücke oder seinen anomalen Wissensstand und sein daraus resultierendes Verhalten in den Mittelpunkt rückt, muß bei jeder Bewertung von Suchergebnissen auch der informationelle Kontext der Anfrage berücksichtigt werden. Der Kontext beinhaltet dabei nach [Saracevic et al. 88]: das zugrundeliegende Problem, bzw. seine Wahrnehmung durch den Benutzer, die

Verwendungsabsicht, die für die Information besteht, den internen Wissensstand des Benutzers im Hinblick auf sein Problem sowie, die Erwartungen in Bezug auf das öffentlich zugängliche Wissen durch den Benutzer.

Hierbei wird mit der Einführung des Wahrnehmungsbegriffes ein weiterer wichtiger Aspekt in die Betrachtung des Informationsprozesses aufgenommen. Die Notwendigkeit der Unterstützung der Wahrnehmung von Informationszusammenhängen innerhalb eines computerunterstützten Informationsdialoges wird durch die Entwicklung und Verwendung neuer direktmanulativer Interaktionsparadigmen für den informationellen Gebrauch von Computern belegt. Erste Systemansätze lassen darüber hinaus Reaktionen innerhalb der Forschungs- und Entwicklungslandschaft erkennen. Dabei haben besonders die Fortschritte in der Computergraphik neue Möglichkeiten zur Entwicklung visuell-direktmanulativer Benutzerschnittstellen für Informationssysteme geschaffen [Card et al. 91]. Die nächste Generation von Informationssystemen soll eher Hilfen bei der unmittelbaren Assimilation und Manipulation von Information bieten, anstatt immer nur weiter zur Generierung neuer Informationen beizutragen [Card 89][Card 95]. Indem immer komplexere Datenstrukturen und Systemfunktionalitäten verfügbar werden, sei es durch Information-Retrieval, Datenbank-, Expertensysteme oder andere, möglicherweise "intelligente" Systeme, die Informationshilfen anbieten, vergrößert sich auch die Anzahl der Interaktionsmethoden, die für den Benutzer im Umgang mit diesen interaktiven Datenspeichern erforderlich sind. In Datenbasen wird längst nicht mehr nur nach Fakteninformation gesucht, sondern durch verschiedenste Informationsstrategien werden strukturell komplex aufgebaute Informationsmengen und -zusammenhänge als Grundlage für Entscheidungen oder zur Aufgabenerfüllung gewonnen. Phänomene wie das sogenannte "Lost-in-Hyperspace Syndrom" [Canter et al. 85] erschweren dabei einen einfachen Umgang mit informationeller Infrastruktur. Eine wichtige Aufgabe besteht deshalb in der Entwicklung von Mensch-Maschine-Schnittstellen, die dem Benutzer die exponentiell wachsenden Mengen gespeicherter Informationen und Informationssystemfunktionalitäten auf eine möglichst natürliche Art und Weise zugänglich, d.h. wahrnehmbar, verarbeitbar und kontrollierbar machen, ohne daß sie dabei einen vermeidbaren kognitiven Aufwand erfordern [Card 89]. Um den Gegenstand dieser informationellen Wahrnehmung und interaktiven Verarbeitung besser verstehen zu können, untersuchen die folgenden Abschnitte die grundlegenden Eigenschaften aller in einem Informationsdialog auftretenden Objekte und ihre Beziehungen zueinander etwas näher.

4.3 Gegenstand und Struktur des Informationsdialoges

Der Inhaltsraum einer Informationsquelle wird durch die informationellen Konzepte aufgespannt, welche in den *Informationsobjekten* der Inhaltsmenge der Informationsquelle behandelt werden. Diese Konzepte wiederum werden durch die Deskriptoren repräsentiert, welche die Autoren der Informationsobjekte gewählt haben, um die von ihnen innerhalb der Inhalte der Informationsobjekte beschriebenen Konzepte und deren informationelle Zusammenhänge darzustellen. Darauf aufbauend kann man, wie z.B. im Vektorraummodell für textuelles Information-Retrieval definiert, jedes Textdokument zu einem Vektor von textuellen Deskriptoren, sogenannten Termen, in Beziehung setzen. Der gesamte Inhaltsraum kann somit z.B. als der Vektorraum angesehen werden, der von einer Basis der Menge aller deskriptiven Termvektoren einer Textdokumentkollektion aufgespannt wird. Analog kann man die informationellen Interessen der *Benutzer* als die Konzepte ansehen, über die sie weitere Informationen erhalten möchten, um Ihre Informationsbedürfnisse zu befriedigen. Diese können wiederum durch *Anfragen* repräsentiert werden, die z.B. durch Vektoren von deskriptiven Termen parametrisiert werden und dadurch die Informationsbedürfnisse von Benutzern und damit die Informationsobjekte des Interessensraumes von Benutzern beschreiben [Hemmje et al. 94a]. Der Inhaltsraum einer Volltextdokumentdatenbank beinhaltet z.B. alle Konzepte, die durch die deskriptiven Terme in den Textdokumenten dieser Informationsquelle beschrieben werden. Der Interessensraum der Benutzer hingegen beinhaltet alle Konzepte, die durch die deskriptiven Terme ihrer Anfragen an die *Datenquelle*, welche den Zugriff auf die Dateninhalte der Textdokumente der Informationsquelle ermöglicht, beschrieben werden. Im folgenden verwenden wir sowohl für die Informationseinheiten, die von Dokumenten und deskriptiven Termen einer Datenquelle repräsentiert werden, als auch für die Anfragen an eine Datenquelle, welche die Informationsbedürfnisse der Benutzer repräsentieren, den allgemeineren Begriff *Informationsobjekte*. In Analogie zur Topologie einer realen Welt lassen sich Mengen von solchen Informationsobjekten als eine Menge von Orten auffassen. Jede „Bewegung“ zwischen zwei Orten ist innerhalb einer solchen Metapher als eine *informationelle Navigation* und damit als Aktivität innerhalb eines *Informationsdialoges* zwischen den Benutzern und dem Informationssystem zu betrachten. Die Navigation von einem Informationsobjekt zum anderen geschieht durch Interaktion mit dem Informationssystem in der Absicht, die konzeptuelle Position im informationellen Inhaltsraum der Datenbasis zu wechseln [Canter et al. 85]. Informationelle Navigation

bedeutet also die Navigation zwischen den Informationsobjekten der Inhaltsmenge einer Datenquelle. Diese Navigationen sind, wenn man sie auf der Basis einer räumlichen Metapher versteht, vergleichbar zu Navigationen in der wirklichen Welt. Beim Entwurf eines Modells einer derartigen räumlichen Metapher für einen Informationsdialog bietet es sich an, Analogien und Parallelen zur Navigation in konkreten Umgebungen wie Gebäuden oder Städten zu ziehen. So besuchen Menschen während eines gewöhnlichen Tagesablaufes verschiedene Orte. Typischerweise werden sie dabei gelegentlich auch wieder an dem Ort ankommen, von dem aus sie gestartet sind. Kleinere Abweichungen bei den gewählten Navigationen zu bestimmten Orten und wieder zurück werden ebenso beobachtet wie Rundgänge oder Navigationen, bei denen der gleiche Weg noch einmal in anderer Richtung gegangen wird. [Canter et al. 85] teilen mögliche Navigationsformen in vier Kategorien ein: Pfade, Ringe, Schleifen und Spitzen und entwickelten darüber hinaus zwei Maßzahlen zur Messung des Navigationsverhaltens. Die eine errechnet sich aus dem Anteil besuchter Orte an der Gesamtzahl der Orte des Systems, die andere aus dem Anteil besuchter unterschiedlicher Orte an der Gesamtzahl der Orte des Systems. Beide Maßzahlen versuchen den Grad der *Exploration* der Gesamtzahl aller Orte des Systems zu beschreiben. Diesen Begriff der Exploration verwenden wir im folgenden ebenfalls für das kognitive und systemtechnische Verarbeiten neuer Informationsobjekte im Sinne von Anfragen nach Informationsobjekten durch die Benutzer, Gewinnung und Präsentation von Informationsobjekten durch das Informationssystem und abschließend visuelle Wahrnehmung sowie kognitiver Navigation, Analyse, Interpretation und Bewertung dieser Informationsobjekte durch die Benutzer in ihrem Informationsdialog mit einem Informationssystem.

Die Menge der durch eine Exploration von den Benutzern vom Informationssystem abgefragten, vom Informationssystem aus der Datenbasis gewonnenen und präsentierten und dann wiederum von den Benutzern wahrgenommenen und evt. durch Navigationen explizit besuchten unterschiedlichen Informationsobjekte definiert in dem von uns angenommenen Informationsdialog die sogenannte *Kontextmenge* der informationellen Navigation. Die Kontextmenge eines Informationsdialoges wird somit durch Exploration und Navigation innerhalb des Informationsdialoges aus der Inhaltsmenge einer Datenquelle geschaffen. Die Pfade, auf denen sich Benutzer dabei durch Navigation innerhalb der Kontextmenge bewegen, werden als inhaltsorientierte Informationspfade betrachtet [Hemmje et al. 94a]. Sie bestehen aus einer Folge von Navigationsvorgängen

zwischen verschiedenen Informationsobjekten im Inhaltsraum einer Datenquelle. Die Navigations- und Explorationsaktivitäten auf den Informationsobjekten einer durch Exploration erzeugten Kontextmenge kann als eine Serie von informationellen *Dialogakten* zwischen den Benutzern und dem Informationssystem betrachtet werden.

Die Exploration der Informationsobjekte des Inhaltsraumes einer Informationsquelle mit Hilfe von im Rahmen dieser Arbeit angestrebten visuellen Benutzungsschnittstellen zur Bedienung und Steuerung von Datenquellen erfolgt durch die Erzeugung von Visualisierungen, d.h. von visuell wahrnehmbaren *Darstellungen* der Inhaltsmenge einer Datenquelle deren Vereinigung die sogenannte Kontextmenge des Informationsdialoges bilden. Das bedeutet, die Kontextmenge wird innerhalb des Informationsdialoges in der Regel durch Exploration der Datenbasis und damit die Erzeugung neuer Ansichten der Inhaltsmenge, die neue Informationsobjekte beinhalten, ständig erweitert. Wie bereits erwähnt, enthält die *Interessensmenge* der Benutzer alle Informationsobjekte, die potentiell zur Befriedigung des Informationsbedürfnisses eines Benutzers geeignet sind. Möglicherweise gehören dazu auch Informationsobjekte, die nicht von den Daten der Datenquelle repräsentiert werden und damit nicht in der Inhaltsmenge der Datenquelle enthalten sind womit sie auch in der Kontextmenge eines Informationsdialoges mit dieser Datenquelle nicht enthalten sein können. Im Idealfall besteht der explorierte Bereich der Inhaltsmenge einer Datenbasis ausschließlich aus der Partition der Inhaltsmenge, deren Informationsobjekte für das Benutzerinteresse relevant sind – den Informationsobjekten der *Relevanzmenge*. Um ihr Informationsbedürfnis zu befriedigen, explorieren Benutzer solange die Inhaltsmenge einer Datenbasis, bis sie davon überzeugt sind, eine ausreichende Relevanzmenge innerhalb ihrer Kontextmenge exploriert zu haben. Dabei kann sich jedoch im Verlauf des Informationsdialoges das Informationsbedürfnis der Benutzer und damit auch ihre Interessensmenge und die daraus resultierende Relevanzmenge verändern. Da bei sehr großen Datenbasen und technisch leistungsfähigen automatischen Suchmechanismen auch die innerhalb des Informationsdialoges erzeugten Ergebnismengen auf Anfragen sehr groß sein können, werden die Ergebnisse mit der höchsten Relevanz von den Benutzern innerhalb von Inspektions- und Bewertungsaktivitäten auf der Kontextmenge zu einer kleineren relevanten Informationsmenge zusammengefaßt; der *Kernergebnismenge*. Diese *Kernmenge* innerhalb der Kontextmenge zu isolieren, wird neben der Exploration der Relevanzmenge in dieser Arbeit als eines der Hauptziele des sogenannten

"Informationsverhaltens" [Belkin & Vickery 85] der Benutzer betrachtet [Hemmje et al. 94b].

Gleichermaßen wie in den oben angesprochenen vektororientierten Modellen, lassen sich die Gegenstände eines Informationsdialoges zum Zwecke einer präziseren abstrakten Beschreibung auch mengenorientiert darstellen, wie dies u.a. für den Prozeß des Information Retrievals selbst auch in den Boole'schen Retrieval-Modellen angewendet wird.

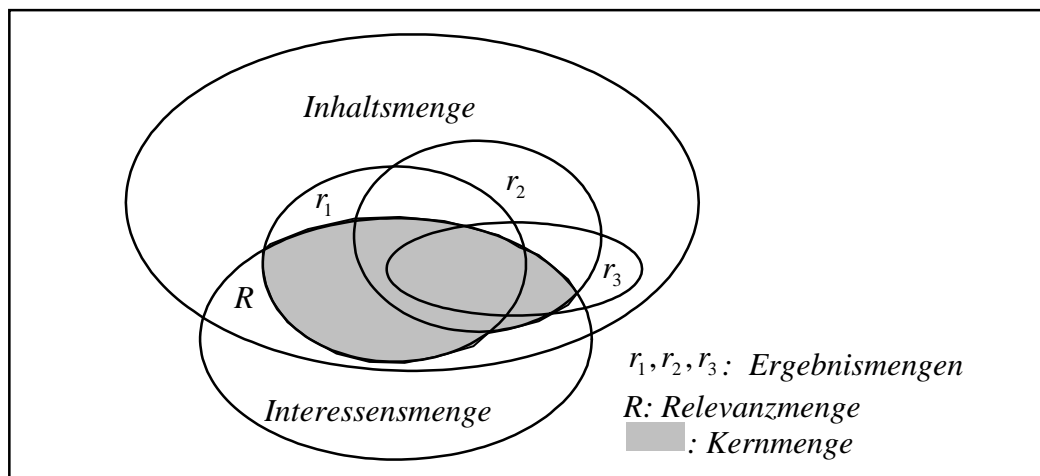


Abbildung 14: Informationsmengen im Informationsdialog [Hemmje et al. 94a]

Anhand einer Betrachtung von inhaltsorientierten Informationsaktivitäten lässt sich also ein Informationsdialog mit einer auf einem Information-Retrieval- oder einem Datenbankmanagementsystem (im weiteren als „Datenquelle“ bezeichnet) basierenden Informationsquelle wie folgt beschreiben (siehe Abbildung 14):

Wir nehmen im folgenden an, daß eine feste Menge *INFORMATION* von *Informationsobjekten*, deren korrespondierende Dateninhalte Information unterschiedlichster Natur beschreiben können, gegeben ist. Wir nehmen weiterhin an, daß eine feste Menge *SOURCE* von *Datenquellen*, welche den Zugriff auf die Dateninhalte von Informationsobjekten einer *Informationsquelle* realisieren, gegeben ist. Abschließend nehmen wir an, daß eine feste Menge *USER* von *Benutzern* gegeben ist.

Die *Inhaltsmenge* einer Datenquelle beschreiben wir wie folgt:

Definition 1: Inhaltsmenge

Die *Inhaltsmenge* einer Datenquelle $s \in SOURCE$ ist die Menge der Informationsobjekte, auf deren Daten durch diese Datenquelle

zugegriffen werden kann. Wir bezeichnen diese Menge mit $CONTENT_s$. Es gilt $CONTENT_s \subseteq INFORMATION$.

Die innerhalb des Informationsdialoges zur Exploration der Inhaltmenge einer Datenquelle verwendeten Formulierungen von *Anfragen* beschreiben wir folgendermassen:

Definition 2: Anfrage

Die Menge von Informationsobjekten, die Beschreibungen von Informationsanforderungen an eine Datenquelle beinhalten, definiert den Raum der Anfragen. Für eine Datenquelle $s \in SOURCE$ bezeichnen wir diese mit $QUERY_s$. Es gilt $QUERY_s \subseteq INFORMATION$.

Die innerhalb eines Informationsdialoges erzeugten Ergebnismengen einer explorativen Anfrage auf die Inhaltmenge einer Datenquelle beschreiben wir wie folgt:

Definition 3: Ergebnismenge

Für eine Datenquelle $s \in SOURCE$ definiert die Funktion $result_s : QUERY_s \rightarrow 2^{CONTENT_s}$ die *Ergebnismenge* einer Anfrage. Für die Ergebnismenge einer Anfrage $q \in QUERY_s$ gilt $result_s(q) \subseteq INFORMATION$.

In der Regel liefern Information-Retrieval-Maschinen eine numerische Relevanzgewichtung der Elemente einer Ergebnismenge gegenüber der Anfrage. Diese Relevanzgewichtung beschreiben wir wie folgt:

Definition 4: Relevanzfunktion

Für eine Datenquelle $s \in SOURCE$ liefert die Gewichtungsfunktion $relevance_s : QUERY_s \times CONTENT_s \rightarrow R^n$ eine reellwertige *Relevanzfunktion* der Ergebnisse einer Anfrage. $relevance_s$ erfüllt die Bedingung $r \in result_s(q) \Leftrightarrow relevance_s(q, r) \neq 0$ für alle Anfragen $q \in QUERY_s$.

Wir nehmen an, daß die einzelnen Interaktionen eines Benutzers mit dem Informationssystem durch sogenannte informationelle *Dialogakte* ACT gegeben sind und somit die Bestandteile eines Informationsdialoges darstellen. Wir definieren daher den Begriff eines Informationsdialoges wie folgt:

Definition 5: Informationsdialog

Ein *Informationsdialog* $h \in D_{s,u}$ zwischen einem Benutzer $u \in USER$ und einer Datenquelle $s \in SOURCE$ ist eine endliche Folge von Dialogakten, d.h. $h = (a_1, \dots, a_n), a_i \in ACT, i = 1, \dots, n$. Eine (Präfix-) Teilfolge des Informationsdialoges bezeichnen wir als *Historie* $HISTORY_{h,i} = (a_1, \dots, a_i), i = 1, \dots, n$.

Im folgenden konkretisieren wir das Informationsdialogmodell hinsichtlich verschiedener Typen von Dialogakten, die innerhalb eines Informationsdialoges auftreten können. Durch die Wahl explorativen Anfragen $q \in QUERY_s$ als ersten konkreten Dialogakttyp, den wir im folgenden als *Exploration* bezeichnen, kommen wir zum Begriff des *explorativen Informationsdialoges*. Die Anfrage q definiert dabei die Exploration der Inhaltsmenge einer Datenquelle s mit $s \in SOURCE$. Weiter beschreibt $relevance_s(q, \cdot)$ die Funktion, die für eine feste Query q allen Informationsobjekten der Ergebnismenge von $result_s(q)$ aus dem Inhaltsraum der Datenquelle s ihre reellwertigen Relevanzwerte zuordnet. Wir definieren den explorativen Informationsdialog wie folgt:

Definition 6: Explorativer Informationsdialog

Ein *explorativer Informationsdialog* $h \in D_{s,u}$ zwischen einem Benutzer $u \in USER$ und einer Datenquelle $s \in SOURCE$ ist eine endliche Folge von Explorationen $h = (q_1, \dots, q_n), q_i \in QUERY_s, i = 1, \dots, n$.

Diese Definition wird später durch die Einführung weiterer Operationen und daraus resultierenden Dialogakttypen erweitert. Informationsdialoge werden immer wie in Definition 5 und Definition 6 beschrieben als eine Folge von Dialogakten betrachtet. Verschiedene Arten von Informationsdialogen ergeben sich aus der Wahl unterschiedlicher Dialogakttypen. Außerdem ist mit jedem Dialogakt eines Informationsdialoges ein aktueller Dialogzustand verbunden. Durch die Einführung des Informationsdialogbegriffes auf der Basis von Dialogakten lässt sich die Vereinigungsmenge aller Ergebnisse von Explorationsdialogakten innerhalb eines Informationsdialoges als sogenannte *Kontextmenge* und damit als *aktueller Explorationszustand* eines explorativen Informationsdialoges definieren.

Definition 7: Kontextmenge

Für jeden Dialogschritt $i = 1, \dots, n$ eines explorativen Informationsdialoges $h \in D_{s,u}$, $h = (q_1, \dots, q_n)$ definiert

$$CONTEXT_{h,i} = \bigcup_{j=1}^i result_s(q_j) \quad \text{die Kontextmenge. Es gilt}$$

$$CONTEXT_{h,i} \subseteq CONTENT_s.$$

Im folgenden vervollständigen wir das Modell des interaktiven Informationsdialogs durch die Formalisierung der bereits eingeführten *Interessensmenge* eines Benutzers in einem Informationsdialog.

Definition 8: Interessensmenge

Für einen Benutzer $u \in USER$ ist die Interessensmenge $INTEREST_u$ die Menge aller Informationsobjekte, welche für die Befriedigung seines Informationsbedürfnisses relevant sind. Es gilt $INTEREST_u \subseteq INFORMATION$.

Die Interessensmenge eines Benutzers und die Inhaltsmenge einer Datenquelle in einem Informationsdialog bilden die Grundlage zur Definition der *Relevanzmenge*, welche sich wie folgt beschreiben lässt:

Definition 9: Relevanzmenge

Die Schnittmenge der Inhaltsmenge $CONTENT_s$ einer Datenquelle $s \in SOURCE$ und der Interessensmenge $INTEREST_u$ eines Benutzers $u \in USER$ definiert die *Relevanzmenge* $RELEVANCE_{s,u}$ einer Datenquelle für diesen Benutzer.

Abschließend definieren wir auf der Relevanzmenge und der Kontextmenge eines Informationsdialogs die *Kernmenge*.

Definition 10: Kernmenge

Die Schnittmenge der Relevanzmenge $RELEVANCE_{s,u}$ einer Datenquelle $s \in SOURCE$ und eines Benutzers $u \in USER$ mit der Kontextmenge $CONTEXT_{h,i}$ eines explorativen Informationsdialogs $h \in D_{s,u}$, $h = (q_1, \dots, q_n)$ bezeichnet die *Kernmenge* des Informationsdialogs zum Dialogschritt $i=1, \dots, n$.

Eine Kontextmenge entsteht also bei jedem explorativen Informationsdialog und verändert sich im Laufe dieses Dialogs. Kontextmengen repräsentieren den informationellen Zusammenhang zwischen den Inhalten von Datenquellen, den Informationsbedürfnissen von Benutzern und ihren entsprechenden Interaktionen in Form von Dialogakten mit einer

Datenquelle in Form von explorativen Anfragen innerhalb des Informationsdialoges. Da die Ergebnismenge einer Anfrage auch Elemente beinhalten kann, welche die Benutzer als nicht relevant einstufen, ist die Relevanzmenge nicht in jedem Fall identisch mit der Kontextmenge des Dialoges. Die Interessensmenge eines Benutzers ist nicht unbedingt eine Teilmenge der Inhaltsmenge einer Datenbank, denn möglicherweise enthält die Datenbank nicht die Information, welche die Benutzer benötigen. Die Interessensmenge der Benutzer ist ebenfalls nicht unbedingt identisch mit der Kontextmenge, da sie Dokumente enthalten kann, die innerhalb des Dialoges nicht exploriert wurden. Darüber hinaus ist die Interessensmenge im Verlauf des Dialoges bei einer Veränderung des Benutzerinformationsbedürfnisses ebenfalls Veränderungen unterworfen und hat somit genauso wie die Kontextmenge eine eher dynamische Natur. Der Inhalt der Kernergebnismenge muß in jedem Fall eine Teilmenge der aktuellen Kontextmenge sein. In der Schnittmenge von Inhaltsmenge und Interessensmenge liegen Elemente, die sowohl in der Inhaltsmenge der Datenquelle gespeichert sind, als auch für das Informationsinteresse der Benutzer relevant sind. Sie sind das Ziel der Informationsaktivität im Dialog mit dem System.

Im in Abbildung 14 dargestellten Beispiel erhalten Benutzer durch drei verschiedene Anfragen die drei Ergebnismengen r_1 , r_2 und r_3 . Ihre Vereinigung bildet die Kontextmenge. Die Schnittmenge der Interessensmenge mit der Inhaltsmenge ist die Relevanzmenge R . Die Kontextmenge enthält auch Dokumente, die nicht in der Interessensmenge der Benutzer liegen. Darüber hinaus liegen auch Dokumente in der Interessensmenge, welche die Benutzer noch nicht durch Anfragen in die Kontextmenge aufgenommen haben. Einen Teil der Kontextmenge haben die Benutzer durch eine explizite Relevanzbewertung in die Kernergebnismenge aufgenommen. Um derartige Aufgaben und daraus resultierende Aktivitäten des Benutzers zu modellieren betrachten wir im weiteren die Aufgaben und Aktivitäten des Benutzers im Informationsdialog.

4.4 Aufgaben und Aktivitäten im Informationsdialog

Eine umfassendere Modellierung von zu unterstützenden Interaktionen zwischen Benutzern und dem Informationssystem innerhalb des Informationsdialoges, die über einfache Explorationen hinausgehen, umfaßt ein weites Spektrum möglicher Aktivitäten. Sie bewegt sich im Spannungsfeld zwischen explorativen Strategien wie dem sogenannten

"Browsing", "Paging", "Scanning" bis hin zur gezielten interaktiven oder automatischen Suche nach einem bestimmten Dokument [Clarkson 93] im Sinne eines „Searching“. Bei der Modellierung und dem Entwurf der Unterstützung von Aktivitäten innerhalb des Informationsdialoges sind demgemäß immer die jeweiligen strategischen Aufgaben und Ziele der Benutzer zu berücksichtigen. Das Ziel einzelner operativer Aktivitäten liegt in der Regel darin, weitere Details über ein bestimmtes Thema oder dessen Teilaspekte zu erfahren oder generell strategisch nützliche Informationsobjekte auszuwählen, zu inspizieren, zu bewerten und die relevantesten Informationsobjekte zu isolieren [Belkin et al. 94]. Zur Zeit bieten die meisten Informationssysteme jedoch nur rein operational orientierte Suchfunktionen (wie etwa die Suche mit Hilfe Boole'scher Logik und Exact-Matching) oder Unterstützung für einfache Browsing- bzw. Scanning-Funktionen an. Strukturierte Anfragesprachen wie die international standardisierte "Structured Query Language" (SQL) sind typische Formalisierungen zur Beschreibung von Anfragen für Suchfunktionen. Hypertextbasierte Informationssysteme wie etwa das "World Wide Web" (WWW) werden hingegen typischerweise eher auf elementaren Browsing- und Scanning-Funktionen aufgebaut. "Browsen" als besonders nützliche Information-Retrieval-Aktivität ist angezeigt, wenn z.B. Dokumente, Terme oder andere Typen von Informationsobjekten im System als ein Graph von Knoten und Kanten vorliegen, durch die sich die Benutzer mit Unterstützung des Systems bewegen können [Croft & Parenty 85][Croft et al. 85]. Beim Browsen handelt es sich insofern um eine interessante Information-Retrieval-Strategie, als es weniger Gewicht auf die Formulierung der Anfrage legt, sondern sich stark auf das direkte Feedback durch Benutzerentscheidungen während des Explorationsvorgangs verläßt [Belkin & Croft 87]. Es kann daher als heuristische Suche in einem gut miteinander verbundenen Dokumentenraum charakterisiert werden [Palay & Fox 81]. Die Browsing-Aktivität ist ursprünglich vom Durchsuchen von Katalogen in Kartenform abgeleitet. Computerunterstütztes Browsing ist in der Regel durch scrollbare Listen von Einträgen realisiert, aus denen eine Auswahl getroffen werden kann. Diese navigatorische Informationsstrategie und die zugehörige operationale Dialogtechnik ist vom Benutzer einfacher zu erlernen als das automatische Suchen über Schlüsselwörter. Die Listennatur der dargestellten Information gestattet es, mehr als nur Schlüsselwörter anzuzeigen, so daß z.B. auch Thesaurusinformation einbezogen werden kann. Zur Steuerung werden im Grunde lediglich drei elementare Interaktionen benötigt: "Auf", "Ab" und "Auswahl". Eine geordnete Darstellung der Navigationsalternativen vermeidet die

möglicherweise unscharfe Suche über ein Computerprogramm, wobei sich der Benutzer selbst als wesentlich flexibleres und mächtigeres "Auswahlwerkzeug" erweist als jedes Programm. Der große Nachteil dieser Information-Retrieval-Strategie liegt in ihrer geringen Effizienz, insbesondere bei großen Informationsmengen. Häufig sind Such- und Browsing-Funktionen kombiniert verfügbar, denn auch in Systemen, die das Browsen gestatten, gibt es viele Situationen, in denen gezieltes Suchen erwünscht ist. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Benutzer genau weiß, wonach er sucht und sich daher nicht langwierig durch ein Netz von Informationsobjekten bewegen möchte, um zur gewünschten Information zu kommen[Palay & Fox 81].

Innerhalb eines Informationsdialoges können eine Reihe von Problemsituationen auftreten. Diese Probleme begründen sich für die Benutzer unter anderem durch fehlende Systemunterstützung im Bereich ihrer strategisch orientierten Explorations- und Navigationsaktivitäten. Da strategische Aktivitäten in allen Phasen des Informationsdialoges auftreten können, werden Benutzer oft bereits ganz zu Anfang ihres Informationsdialoges mit dem System mit unerwarteten Problemen konfrontiert. Möglicherweise haben sie keine klare Vorstellung von ihrem Informationsbedürfnis und beginnen daher mit willkürlichen Navigations-, Explorations- und Browsingaktivitäten, in der Hoffnung, daß sie auf diese Weise finden werden, wonach sie suchen. Probleme treten ebenfalls auf, wenn Benutzer eine klare Vorstellung von der Information haben, die sie suchen, aber nicht in der Lage sind, eine dieser Vorstellung entsprechende Anfrage zu formulieren, d.h eine zielgerichtete informationelle Navigation durchzuführen. Dies kann seinen Grund darin haben, daß sie mit der formalen Anfragesprache der benutzten Information-Retrieval-Engine nicht vertraut sind oder daß die angebotene Anfragesprache nicht ausdrucksfähig genug ist, um das vorliegende Informationsbedürfnis zu beschreiben [Bruza 90]. Außer unter den kontrollierten Bedingungen eines Experimentes ist es in der Regel für Benutzer schwierig, ein Information-Retrieval-System genau das zu fragen, was sie wissen möchten. Normalerweise ist weder bekannt, was verfügbar ist, noch, wovon es differenziert werden muß [Card et al. 91]. Techniken wie das Scannen von Datenbasen beinhalten, daß der Benutzer eine große Datenmenge exploriert, ohne jedoch den Details einzelner Informationsobjekte größere Aufmerksamkeit zu widmen [Canter et al. 85]. Während eine Menge von zu einem informationelle Fragestellung relevanten Datenbankobjekte überflogen wird, nehmen Benutzer in der Regel Informationsobjekte wahr, deren Existenz ihnen zuvor nicht bekannt bzw. bewußt war. Dieses Phänomen wird

mit dem Begriff Serendipität bezeichnet und führt zu einer Veränderung oder Umgewichtung des Informationsbedürfnisses im Informationsdialog. Eine Unterstützung dieses Phänomens stellt eine weitere Anforderung an die Benutzungsschnittstellen von Informationssystemen dar [Belkin et al. 94].

Das in Abbildung 15 dargestellte Modell des interaktiven Informationsdialoges kategorisiert die strategischen Aufgabenphasen und die zugehörigen Aktivitäten und Meta-Aktivitäten der Benutzer innerhalb eines Informationsdialoges.

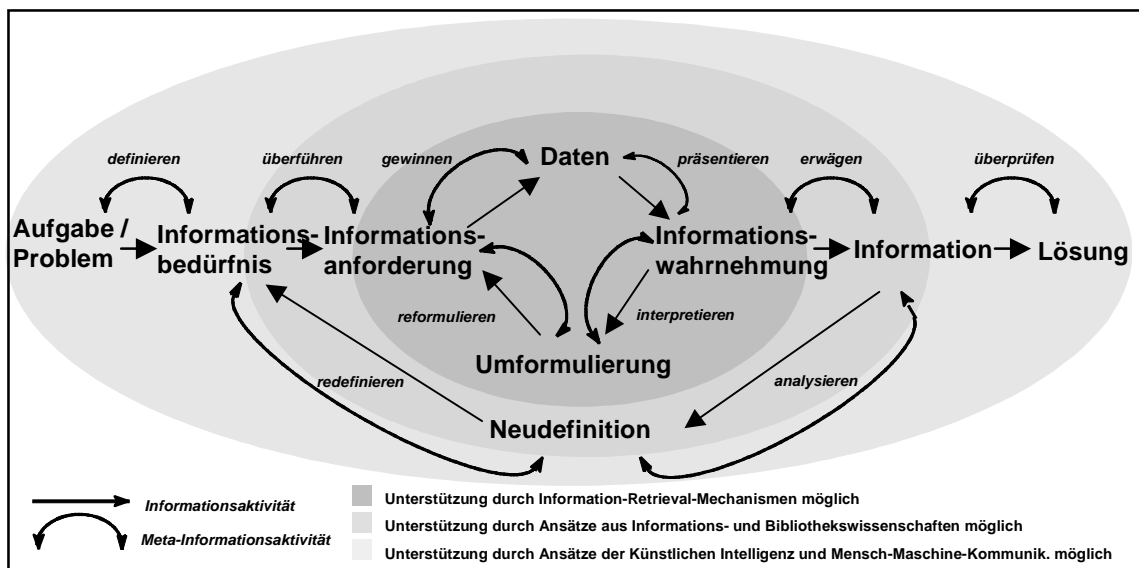


Abbildung 15: Struktur von Aktivitäten im Informationsdialog [Hemmje et al. 96]

Das Modell ist vom Mediator-Modell nach [Ingwersen 92][Ingwersen 94] abgeleitet. Die dargestellte Modellierung des Informationsdialoges geht vom Vorhandensein eines initialen Problems, einer initialen Entscheidungssituation oder einer initialen Aufgabenstellung aus, deren Lösung bzw. Erfüllung implizit die Gewinnung von problem-, entscheidungs-, oder aufgabenbezogener Informationsobjekte aus dem Inhaltsraum einer Datenbank erfordert. Ein wesentlicher Bestandteil des Informationsprozesses ist damit das Erkennen der Existenz eines lösungsrelevanten Informationsdefizites, also eines "Informationsbedürfnisses" im Sinne der "Anomalous State of Knowledge"-Theorie [Belkin et al. 82a][Belkin et al. 82b]. In der nächsten Phase des Informationsdialoges wird das Informationsbedürfnis in Form einer "Informationsanforderung", also z.B. als Exploration, d.h. als formale Anfrage zur Erweiterung der Kontextmenge an das Informationssystem gegeben. Das veranlaßt das Informationssystem mit Hilfe seiner automatischen Suchmechanismen eine Ergebnismenge aus der Datenbank zu extrahieren, die der Informationsanforderung formal genügt. Diese Ergebnismenge ist anschließend auf

geeignete Art und Weise als Bestandteil der Kontextmenge des bisherigen Informationsdialoges und damit erst als Information im Dialogkontext zu präsentieren. Sie wird dann von den Benutzern, evt. auch unter Durchführung von Navigationen, wahrgenommen, bezüglich ihrer Relevanz interpretiert und bewertet. Erkennt der Benutzer die präsentierten Daten nicht nur als formale sondern auch als informationelle Lösung seines Informationsbedürfnisses an, so ist in einer letzten Dialogphase zu prüfen, ob die erzielte informationelle Lösung auch zur Lösung des initialen Problems geeignet ist, d.h. ob sie anwendbar und ausreichend ist. Andernfalls ist eine Umformulierung der Informationsanforderung oder gar eine Neudefinition des Informationsbedürfnisses notwendig.

Informationssysteme werden also in der Regel *strategisch* als Unterstützungswerkzeug in Entscheidungs-, Problemlösungs- oder Informationssituationen benutzt. Um dieser Verwendung in einem strategisch erweiterten Aufgabenunterstützungskontext in einem exemplarischen Modellierungsansatz Rechnung zu tragen, erweitern wir im folgenden unser bisher sehr einfach definiertes Modell des Informationsdialoges um einige Konzepte und Aktivitäten als Basis für die später entworfene Unterstützung für die Aufgaben des Benutzers in der innersten der drei oben beschriebenen Dialogphasen, welche sich mit der Informationsexploration, sowie der Wahrnehmung, Analyse, Bewertung und Weiterverarbeitung der informationellen Ergebnisse des Informationsdialoges beschäftigt und deren Durchführung wir im weiteren Verlauf der Arbeit durch die Definition eines Informationsvisualisierungsmodells und für einige der genannten Aufgaben geeignete Visualisierungsmodelle unterstützen wollen.

Während eines Informationsdialoges betreiben Benutzer, wie bereits angesprochen, zwei Kategorien von Aktivitäten. Es handelt sich dabei einerseits um Aktivitäten bezüglich einer Veränderung des informationellen Kontextes des Informationsdialoges und andererseits um operativ oder strategisch motivierte Meta-Aktivitäten in denen der informationelle Kontext des Informationsdialoges unverändert bleibt, jedoch z.B. der Fokus innerhalb der Kontextmenge, d.h. der informationelle Blickpunkt und damit die Sicht auf die Kontextmenge sowie die Relevanzbewertungen von Teilen der Kontextmenge des Informationsdialoges aus Sicht der Benutzer verändert werden können.

Die beiden Kategorien der oben genannten Benutzeraktivitäten erweitern unsere Modell des Informationsdialoges eines Benutzers mit einer Datenquelle um das Konzept des

Fokus. Der Fokus wird charakterisiert durch ein ausgewähltes Element der aktuellen Kontextmenge des Informationsdialoges. Damit erweitert der Begriff des Fokus den Zustandsbegriff des Informationsdialoges durch den *aktuellen Navigationszustand*. Eine explizite Veränderung des Fokus stellt einen neuen Typ des Dialogaktes dar. Wir definieren im folgenden den Fokus und damit den aktuellen Navigationszustand eines Informationsdialoges wie folgt:

Definition 11: Explorativer und navigierender Informationsdialog

Ein *explorativer und navigierender Informationsdialog* $h \in D_{s,u}$ zwischen einem Benutzer $u \in USER$ und einer Datenquelle $s \in SOURCE$, ist eine endliche Folge von Dialogakten (a_1, \dots, a_n) wobei

$$a_i \in QUERY_s \cup CONTENT_s \quad \text{und}$$

$$a_i \in CONTENT_s \Rightarrow a_i \in CONTEXT_{h,i-1} \quad \text{für } i=2, \dots, n. \quad \text{Weiter ist}$$

$a_1 \in CONTENT_s$ wobei für explorierende und navigierende Informationsdialoge die Definition der Kontextmenge folgendermassen modifiziert wird: für jeden Dialogschritt $i=1, \dots, n$ eines explorierenden und navigierenden Informationsdialoges $h \in D_{s,u}$, $h = (a_1, \dots, a_n)$ definiert sich die *Kontextmenge* durch

$$CONTEXT_{h,i} = \begin{cases} CONTEXT_{h,i-1} & \text{falls } a_i \in CONTENT_s \\ result_s(a_i) \cup CONTEXT_{h,i-1} & \text{falls } a_i \in QUERY_s \end{cases}$$

für $i=2, \dots, n$; $CONTEXT_{h,1} = \{a_1\}$.

Die letzte Bedingung drückt aus, daß ausschließlich auf bereits explorierte Elemente navigiert werden kann. Als nächstes definieren wir den Fokus eines explorierenden und navigierenden Informationsdialoges.

Definition 12: Fokus, aktueller Navigationszustand

Für jeden Dialogschritt $i=1, \dots, n$ eines explorierenden und navigierenden Informationsdialoges $h \in D_{s,u}$, $h = (a_1, \dots, a_n)$ definiert sich der *Fokus* $FOCUS_{h,i}$ durch

$$FOCUS_{h,i} = \begin{cases} FOCUS_{h,i-1} & \text{falls } a_i \in QUERY_s \\ a_i & \text{falls } a_i \in CONTENT_s \end{cases} \quad \text{für } i=2, \dots, n;$$

$$FOCUS_{h,1} = a_1.$$

Die Navigation ist damit, im Gegensatz zur Exploration, welche eine Erweiterung der Kontextmenge bewirkt, eine kontextorientierte Meta-Aktivität, mit welcher die Benutzer

lediglich den Darstellungs- bzw. Wahrnehmungsfokus des Informationsdialoges verändern. Weitere kontextorientierte Meta-Aktivitäten der Benutzer im Informationsdialog stehen im Zusammenhang mit der strategischen Planung des weiteren Vorgehens bei der Bearbeitung ihrer Informationsaufgabe. Die Benutzer müssen, z.B. um die Richtung weiterer Navigationen bzw. Explorationen bestimmen zu können, weitere Interaktionen mit der Kontextmenge durchführen. Dazu gehört auch die Inspektionen von Inhalten der Informationselemente im Kontextraum, also die Betrachtung von Detailinformationen wie z.B. Attributen von Informationsobjekten oder vollständige detaillierte Dokumentinhalte [Hemmje et al. 94b]. Wir verstehen deshalb den Dialogakt der *Inspektion* eines Informationsobjektes der Kontextmenge durch einen Benutzer als den Zugriff auf die Daten und Attribute, welche dieses Element der Kontextmenge in der Datenbank beinhaltet. Der jeweilige Navigationszustand $FOCUS_{h,i}$ des vorherigen Schrittes im Informationsdialog definiert dabei das Zielobjekt einer solche Inspektion. Sofern das Zielobjekt nicht im Fokus des Informationsdialoges liegt, ist eine Inspektion also immer mit der Notwendigkeit einer Navigation verbunden bzw. folgt dieser nach.

Die Benutzer müssen weiterhin Interessensbewertungen auf den Informationsobjekten der Kontextmenge durchführen können, um so die Kernergebnismenge ihres Informationsdialoges zu isolieren. Den Dialogakt einer *Interessensgewichtung* einer auf einer explorativen Anfrage beruhenden Ergebnismenge innerhalb der Kontextmenge bezüglich eines informationellen Benutzerinteresses verstehen wir im folgenden als die informationelle Bewertung der Informationsobjekte dieser Ergebnismenge einer Anfrage in der Kontextmenge durch den Benutzer entsprechend seinem Informationsbedürfnis und damit dem Grad der Zugehörigkeit dieser Ergebnismenge zu seiner Interessensmenge. Ein Tupel $\langle q, e \rangle$ beschreibt eine solche Interessensgewichtung für die Ergebnismenge einer Anfrage $q \in QUERY_s$ an eine Datenquelle $s \in SOURCE$ und ein Interessensbewertung $e \in R^+$. Wir erweitern darauf aufbauend unser Model und die Definition des Informationsdialoges um das Konzept der *Bewertung* eines Informationsdialoges auf der Grundlage von Interessensgewichtungen der Benutzer wie folgt:

Definition 13: Explorativer, navigierender und bewertender Informationsdialog

Ein explorierender, navigierender und bewertender Informationsdialog $h \in D_{s,u}$ zwischen einem Benutzer $u \in USER$ ist eine endliche Folge (a_1, \dots, a_n) wobei

$a_i \in QUERY_s \cup CONTENT_s \cup (QUERY_s \times R^+)$
 und
 $a_i \in CONTENT_s \Rightarrow a_i \in CONTEXT_{h,i-1}$
 $a_i = \langle q, e \rangle \in QUERY_s \times R^+ \Rightarrow \exists j (a_j = q \wedge 1 \leq j < i)$
 für $i=2, \dots, n$. Weiter ist $a_1 \in CONTENT_s$ ein beliebig gewähltes Element.

Die Definitionen von $CONTEXT_{h,i}$ und $FOCUS_{h,i}$ müssen dahingehend erweitert werden, daß sich diese Zustände bei einem Bewertungsdialogakt nicht ändern. Wir verzichten an dieser Stelle auf die entsprechenden Definitionen, da diese triviale Erweiterungen der bisherigen darstellen. Die letzte Bedingung drückt aus, daß ausschließlich bereits durchgeführte Explorations-Anfragen bewertet werden können. Als nächstes erweitern wir die Zustandsdefinitionen des Informationsdialoges durch die *Bewertungsmenge*, welche die Benutzerbewertungen und damit den *aktuellen Bewertungszustand* charakterisiert.

Definition 14: Bewertungsmenge

Für jeden Dialogschritt $i=1, \dots, n$ eines explorierenden, navigierenden und bewertenden Informationsdialoges $h \in D_{s,u}$ $h = (a_1, \dots, a_n)$ definiert sich die *Bewertungsmenge* $EVALUATION_{h,i}$ durch

$$EVALUATION_{h,i} = \begin{cases} EVALUATION_{h,i-1} & \text{falls } a_i \in CONTENT_s \\ (EVALUATION_{h,i-1} \setminus \langle q, e' \rangle) \cup \{ \langle q, e' \rangle \} & \text{falls } a_i = \langle q, e' \rangle \text{ und } \langle q, e \rangle \in EVALUATION_{h,i-1} \\ EVALUATION_{h,i-1} \cup \{ \langle a_i, 1 \rangle \} & \text{falls } a_i \in QUERY_s \end{cases}$$

für $i=2, \dots, n$; $EVALUATION_{h,1} = \emptyset$.

Bemerkung: Man beachte, daß im Fall $a_i = \langle q, e' \rangle$ immer ein $\langle q, e \rangle \in EVALUATION_{h,i-1}$ aufgrund der Bedingung in Definition 13 existiert.

Diesem Modell des Informationsdialoges liegt eine idealisierte Betrachtungsweise des beschriebenen Informationsprozesses zugrunde. Es ermöglicht jedoch die generelle Kategorisierung der operationalen Aktivitäten eines Informationsdialoges sowie eine Abgrenzung von Systemfunktionalitäten gegenüber den verschiedenen Kategorien von Benutzeraktivitäten. Innerhalb eines realen Informationsdialoges treten die beschriebenen Aktivitäten in oftmals komplex strukturierten iterativen und rekursiven

Dialogausprägungen [Sitter & Stein 92] auf. Derartige "Subdialoge" dienen dabei oft der Erledigung von organisatorisch orientierten Meta-Aktivitäten im Sinne der zweiten Schicht des oben beschriebenen Modells. Dazu gehören z.B. die generellen Aktivitäten zur informationellen Dialogkontrolle (z.B. Formulierungen von Informationsanforderungen, Auswählen von Datenquellen und Typen, Bestätigungen, Rückfragen, Klärungsdialoge etc.), der Kommunikationskontrolle (Bearbeitung von Formulierungsproblemen etc.), der systemadäquaten Operationalisierung von mentalen Informationsstrukturen (z.B. die Überführung von Problemen in informationelle Bedürfnisse und dann weiter in operationale Anfragen) sowie elementaren Systemkontrollen, wie die Manipulation und Kontrolle der elementaren Ein-/Ausgabe-Mechanismen sowie der Präsentationsmechanismen (Windows, Graphiken etc.). Diese Meta-Aktivitäten innerhalb des Informationsdialoges stehen in der Regel immer auch in einem inhaltlich motivierten Zusammenhang zum aktuellen Kontext und den inhaltlichen Aktivitäten des Dialoges. Ihre Unterstützung sollen allerdings, im Gegensatz zu den strategischen Informationsaktivitäten selbst, im weiteren Verlauf der Arbeit nicht Gegenstand der Betrachtung sein.

4.5 Information durch interaktive Visualisierung

Die visuelle Darstellung und Behandlung von Information wird bereits seit langem [Larkin & Simon 87] als effiziente Kommunikationsmethode für informationelle Sachverhalte betrachtet und dementsprechend untersucht und angewendet. Da eine computergenerierte visuelle Darstellung in Form von zweidimensionalen Bildern seit Mitte der 80er Jahre auch im Bereich von preiswerten Computerplattformen keine Probleme mehr bereitet, werden Visualisierungsmethoden mittlerweile in fast allen Anwendungsbereichen computerunterstützten Arbeitens verwendet. In der Regel projizieren dabei computergraphische Darstellungsalgorithmen informationsvisualisierende Abbildungen von beliebig strukturierte Datenmengen auf zweidimensionale visuelle Darstellungen. Dieser Informationsvisualisierungs- und Darstellungsprozeß bringt in der Regel die Gefahr einer Reduktion des Informationsgehaltes der Daten bzw. ihrer strukturellen Eigenschaften mit sich. Darüber hinaus besteht die Gefahr einer verzerrten Darstellung des behandelten Sachverhaltes [Crouch 86]. Derartige potentielle Problemquellen müssen beim Entwurf geeigneter visueller Informationsvisualisierungs- und Darstellungsmethoden beachtet werden. Um die Ausdrucksfähigkeit von Visualisierungsmodellen zur Unterstützung der

Informationsvisualisierung von Informationsdialogen zu nutzen, müssen in den interaktiven Informationsdialog integrierte Informationsvisualisierungsmethoden auf der Basis generischer Informations- und Visualisierungsmodelle gefunden werden, mit denen Information im Sinne von Daten und Funktionen auf technisch effiziente Art und Weise in kognitiv effiziente Bilder umgewandelt werden kann [Patel & Sutcliffe 93]. Da Datenmengen in der Theorie der Informationstechnik und der ihr verwandten Wissenschaften als mathematisch logische "Räume" betrachtet werden, bietet es sich an, automatische computergraphische Informationsvisualisierungsmethoden aufbauend auf mathematisch-logischen Daten-, und Informationsmodellierungs- und Repräsentationsräumen auch als Mittel zur Verbesserung des Informationsdialoges mit computerbasierten Informationssystemen einzusetzen [Crouch 86].

Menschen sind daran gewöhnt, in realen dreidimensionalen Räumen motorisch und sensorisch zu agieren und darüber hinaus zweidimensional zu navigieren. Dies geschieht, indem sie mit Hilfe ihres visuellen Wahrnehmungssystems individuelle Eigenschaften von Objekten ebenso wahrnehmen wie deren Beziehungen untereinander sowie wiederkehrende Beziehungsmuster. Physikalische Räume höherer Dimensionalität sind der menschlichen Wahrnehmung jedoch verschlossen, deren Vorstellung somit ungewohnt und deshalb nur schwer oder gar nicht durch die Ausnutzung der reinen Wahrnehmungsprozesse zu unterstützen. Wenn Aktivitäten von informationellen Beurteilungen und Entscheidungen abhängen, die sowohl auf den individuellen Charakteristika von Daten und Informationsobjekten beruhen als auch auf ihren relativen Beziehungen zueinander, dann sollte im Falle einer Unterstützung dieses Prozesses durch Informationsvisualisierungen eine Informationsvisualisierungsfunktion verwendet werden, die sich in der räumlichen Dimensionalität ihres visuellen Ergebnisses an der räumlichen Dimensionalität orientiert, an die Menschen wahrnehmungsseitig bereits gewöhnt sind [Chalmers 93]. Viele Definitions- und Wertebereiche von informationstragenden Daten erstrecken sich linear über einen bestimmten Bereich (z.B. Zeit), was häufig in einer 2D-Informationsvisualisierung und -Darstellung resultiert. Oft werden die Informationsvisualisierungen solcher Datenräume jedoch so groß, daß es schwierig wird, sie auf Bildschirmen noch übersichtlich darzustellen [Mackinlay et al. 91]. Information in Form von großen Daten- und Dokumentmengen hat darüber hinaus in der Regel eine interne Struktur. Informationsvisualisierung muß deshalb auch zum Ziel haben, strukturelle Beziehungen und Kontexte, die durch solche Beziehungen erzeugt werden, zu vermitteln,

die unter herkömmlichen computerbasierten Darstellungs- und Interaktionsbedingungen nur schwer von den Benutzern zu erfassen wären [Card et al. 91][Spoerri 93]. Eine gute Informationsvisualisierung versorgt den Benutzer also mit einer kognitiv effektiven Darstellung des Informationsraumes und der Möglichkeit, den interaktiven Informationsdialog mit dem Informationssystem durch direktmanipulative Einflußnahme verbunden mit visuellen Rückkopplungsmechanismen durchzuführen und zu kontrollieren [Mackinlay et al. 95].

In Datenbank- und Information-Retrieval-Systemen werden Daten- und Informationsmengen gespeichert und kategorisiert, um eine effiziente Verwaltung der Daten und eine effiziente Wiedergewinnung von Information, die von diesen Daten getragen wird, zu ermöglichen. Die potentielle Komplexität der zugrundeliegenden Daten- und Informationsstrukturen ist hoch, da in der Regel beliebige repräsentative Datentypen, Datenstrukturen und informationelle Anwendungsdimensionen auf den Daten vorstellbar sind. Der Benutzer muß deshalb in die Lage versetzt werden, ein mentales Modell der informationellen Typen, Strukturen und Anwendungsdimensionen zu entwickeln, nach denen die vorliegenden Datenmengen angeordnet oder verknüpft sind bzw. angeordnet oder verknüpft werden können. Ziel ist es also, neben den reinen Dateninhalten auch das qualitative Wesen sowie die Struktur der Datenmenge an sich und nicht nur losgelöste Teilmengen zu präsentieren und für den Benutzer erfaßbar, manipulierbar und kontrollierbar zu machen. Durch Explorations-, Navigations-, Bewertungseingaben und andere interaktive Manipulationsmechanismen wird die visuelle Wahrnehmung der informationellen Zusammenhänge innerhalb der inhaltlichen Themengebiete der Kontextmenge eines Informationsdialoges durch die Benutzer unterstützt. Ziel von Informationsvisualisierungen in Benutzungsschnittstellen zu Informationssystemen ist es also, die Abwicklung von Informationsdialogen visuell-direktmanipulativ zu unterstützen und auf diese Weise unabhängiger von Interaktionsparadigmen zu werden, die ein unmittelbares abstraktes Wissen über die Struktur und die Funktionalität (z.B. der Anfragesprachen) der Datenbasis selbst erfordern. Hierbei sollen an Stelle einer rein kognitiven Verarbeitung des Interpretationsprozesses eine eher sensorisch-motorische Verarbeitung des Informationsprozesses sowie eine eher explorative strategische Vorgehensweise innerhalb der Steuerung des Informationsprozesses unterstützt werden [Chalmers 93]. Da die Menge verfügbarer Information immer schneller anwächst, wird es zu einer kritischen Aufgabe, Benutzer mit qualitativ hochwertigen visuell-

direktmanipulativen Information-Retrieval-Benutzungsschnittstellen zu versehen, die sie einerseits befähigen, große Informationsräume effizient zu explorieren, in diesen zu Navigieren, die Informationsobjekte zu inspizieren sowie bezüglich ihrer Relevanz zu bewerten und weiterzuverarbeiten.

Da sich insbesondere bei komplexen Informationsvisualisierungen der geringe verfügbare Darstellungsraum auf Computerbildschirmen negativ bemerkbar macht, ist die Auswahl der Information zur Visualisierung genauso bedeutsam wie die Methode der Visualisierung selbst [Mackinlay et al. 95], denn neben der Limitierung durch die Bildschirmgröße sind alle Informationsräume zugleich begrenzt durch die Größe und Aufnahmefähigkeit der menschlichen Wahrnehmung [Mackinlay et al. 91]. Mögliche Wege zur Lösung des Platzproblems sind:

- wechselndes Umschalten auf alternative Bildschirme (z.B. überlappende Fenster),
- perspektivische Verzerrungen (z.B. Fischaugendarstellung),
- große virtuelle Räume (der Bildschirm wird als manipulierbares Fenster verwendet, durch das z.B. auch "gezoomt" werden kann; die Datenwelt bleibt dabei unverändert),
- multiple interaktive Räume [Henderson & Card 86].

Mit diesen Lösungen treten jedoch neue Probleme auf:

- das Navigationsproblem (wie können Objekte gefunden werden?),
- das Problem des gleichzeitigen Zugriffs auf räumlich voneinander getrennte Informationen.

Für das erstgenannte Problem bieten sich mit den sogenannten "Browsern" visuell-direktmanipulative Explorationswerkzeuge als Lösung an, für das zweite multiple Links, die eine Gruppierung bewirken [Henderson & Card 86]. Alle Ansätze erfordern jedoch ein hohes Maß an Flexibilität bezüglich der Konfigurierbarkeit der verwendeten Informationsvisualisierungs- und Interaktionsparadigmen.

Eine effektive Informationsvisualisierung sollte sowohl Details von Informationsobjekten im Fokus als auch den Kontext des Informationsdialoges darstellen [Clarkson 93]. Eine verbreitete Technik zur Integration von Ansichten auf Details *und* auf den Kontext ist die gleichzeitige Darstellung von zwei Ansichten, einem in der Größe reduzierten Überblick über den gesamten Arbeitsbereich sowie einem detaillierten Blick auf einen ganz bestimmten Bereich. Problematisch ist hierbei die Darstellung des Überblicks. Leicht gerät

in Überblicksdarstellungen Information aufgrund der geringen Größe des Darstellungsraumes quasi "außer Sicht"; wird dagegen der Überblick vergrößert, so verringert sich der für den Arbeitsbereich zur Verfügung stehende Platz [Mackinlay et al. 91]. Es gibt zwei Techniken, die graphische Darstellungen großer Informationsräume ermöglichen: Die erste ist die sogenannte "Raumstrategie", die über Layout und graphisches Design versucht, möglichst viel Information in eine überblicksartige Visualisierung zu konzentrieren. Die Zweite ist die sogenannte "Zeitstrategie", die dynamische Transitionen von einem Zustand in den anderen sichtbar macht und so Information über eine Abfolge verschiedener Bilder übermittelt. Große Informationsräume erfordern häufig den Einsatz beider Techniken [Mackinlay et al. 91].

Benutzern, die eine stark informationsabhängige Aufgabe zu lösen haben, stehen sowohl interne, kognitive als auch externe Ressourcen zur Informationsspeicherung und -verarbeitung zur Verfügung. Zur Orientierung, Navigation und Exploration innerhalb einer sehr großen oder sehr komplexen Informationsmenge sowie zur Wahrnehmung, Analyse und dem Verständnis der internen Strukturen der Informationsmenge wird daher systemische, d.h. externe Unterstützung benötigt. Diese Unterstützung kann durch die Informationsvisualisierung und Darstellung der abstrakten Struktur von Informationsmengen auf virtuelle, graphisch visualisierte „Informationsräume“, also durch eine starke Kopplung zwischen der informationellen Datenstruktur einer Anwendung und der natürlichen Fähigkeit des Menschen zur Erfassung räumlicher Zusammenhänge durch visuelle Wahrnehmung gewährleistet werden [Hemmje et al. 92]. Derartige räumlich-visuelle Benutzungsschnittstellen zu Informationssystemen unterstützen vor allem drei wesentliche Aspekte:

- Beziehungen zwischen Informationsobjekten können in sogenannten "informationelle Kontexte" zusammengefaßt dargestellt werden,
- potentielle Anknüpfungspunkte für weiterführende Informationssubprozesse können in diese Kontexte integriert werden
- die Dialoghistorie kann wahrnehmbar gemacht werden und somit selbst zum Gegenstand der informationellen Interaktion werden

Bei räumlich-visuell ausgelegten Informationsschnittstellen "betritt" der Informationssuchende eine mit Hilfe von speziellen Layoutalgorithmen oder durch konkrete oder abstrakte Metaphern erzeugte visuelle Welt und exploriert sie durch

Navigation im Raum und durch Interaktionen mit den Informationsvisualisierungsobjekten. Er formuliert allein durch seine Navigation und einfache Interaktionen mit den Informationsvisualisierungsobjekten der Darstellung sein Informationsbedürfnis, wobei er sich entlang semantische oder syntaktisch orientierter Verknüpfungen innerhalb der Kontextmenge seines Informationsdialoges bewegt.

Wenn der Benutzer sich z.B. innerhalb einer informationellen Landschaftsmetapher bewegt, tauchen z.B. an der Grenze seines Sichtfeldes, dem visuellen "Horizont", neue Informationsobjekte auf. Hinter dem Horizont verschwinden aber auch bei weiterführender Navigation die als nicht relevant erachteten Informationsobjekte, während sich relevante Objekte zwar entfernen, aber immer noch "sichtbar", das heißt in einer räumlichen Nähe zur aktuellen Position visuell wahrnehmbar sind. Visuell-direktmanipulative Interaktionen wie das Navigieren und die Inspektion von visuellen Informationssymbolen ermöglichen eine detailliertere Exploration der einzelnen Informationsobjekte und ihrer Inhalte bezüglich des Informationsinteresses der Benutzer. Informationsobjekte können durch eine spezifische Interaktion in Form einer Bewertung bezüglich des Informationsbedürfnisses und damit der Interessensmenge der Benutzer als relevant ausgezeichnet werden [Hemmje et al. 92]. Durch die Kombination von Interaktionen wie Navigation, Exploration, Inspektion und Bewertung kann sowohl der generelle Zugriff auf Information, die Verwaltung von Information als auch die Wiedergewinnung von Information unterstützt werden [Chalmers 93]. Der Informationsprozeß kann darüber hinaus nicht mehr als rein sequentieller Dialog Anfrage/Ergebnispräsentation verstanden werden, weil die Mensch-Maschine-Dialoge durch die Multimodalität der Interaktionsmöglichkeiten vielschichtiger werden [Hemmje et al. 92] können. Derzeit sind allerdings oftmals noch Kompromißentscheidungen zwischen der Qualität der Darstellung mit ihren Auswirkungen auf die Qualität der Interaktion und der Leistungsfähigkeit des Computergraphiksystems zur Bilderzeugung notwendig. Weiterhin scheinen viele der in 2D-Informationsvisualisierungen bewährten Layoutverfahren und Eingabegeräte für eine intuitive Interaktion in 3D-Informationsvisualisierungen unzulänglich. Darüber hinaus ist noch wenig darüber bekannt, wie effizient Menschen mit 3D-computergraphischen Benutzungsschnittstellen überhaupt interagieren können. Die Effizienz der Visualisierung und der visuell-direktmanipulativen Interaktion kann letztendlich nur durch Benutzungs- und Nützlichkeitsexperimente erkundet werden [Patel & Sutcliffe 93].

Für die Benutzer ist es bei der Anwendung visueller Benutzungsschnittstellen zu Informationssystemen völlig unerheblich, ob sie mit einer Benutzungsschnittstelle zu einer Datenbank arbeiten, d.h. ob die visuellen Darstellungen, die sie bei ihrer informationellen Navigation im Datenraum unterstützen, auch tatsächlich auf der Datenschemaebene modelliert sind, oder ob die als Visualisierungen präsentierten Informationsmengen jeweils aktuell und dynamisch mit Hilfe eines mehrstufigen Informationsvisualisierungssystems auf der Basis von Abbildungs-, Darstellungs- und Interaktionsinterpretationsregeln, die der interaktiven Informationsvisualisierung zugrunde liegen, erzeugt werden. Auch für die Entwickler von Informationssystemen wird es zunehmend schwieriger, zwischen der Benutzungsschnittstelle, der Datenbank, der Information-Retrieval-Komponente sowie den operationalen Daten und der durch den Informationsprozeß selbst erzeugten Informationsmenge klar zu differenzieren, da durch die Einführung transparenter objektorientierter Implementierungstechniken die Übergänge zwischen Benutzungsschnittstelle, Anwendungskomponenten und Datenmanagementkomponenten wie Datenbank- und Information-Retrieval-Systemen fließender werden. Es ist eines der Ziele dieser Arbeit, zwischen den technischen Repräsentationsebenen der Datenquellen sowie deren informationeller und visueller Aufarbeitung und der Verarbeitung der eigentlichen Benutzerinteraktion und deren Interpretation eine klare Abgrenzung zu definieren.

4.6 Gegenstände und Funktionen der interaktiven Informationsvisualisierung

Basis des in Abbildung 16 schematisch dargestellten Modells des interaktiven Informationsvisualisierungsprozesses ist der Zugriff auf die zu visualisierenden informationstragenden Daten, der auf der Datenquellebene stattfindet. Wir beschreiben im folgenden weitere Gegenstände und Funktionen des Modells des interaktiven Informationsvisualisierungsprozesses. Die durch eine *Anfrage* eines Benutzers aus dem Inhaltsraum einer Datenquelle gewonnenen und mit Hilfe der Retrievalfunktion innerhalb einer *Exploration* vom System bereits gewonnenen und bezüglich ihrer Relevanz zur Anfrage bewerteten Daten des *Ergebnisses* werden durch eine Integrationsfunktion auf die Anforderungen der Anwendung hin informationell aufbereitet (z.B. bezüglich des bereits existierenden Kontextes normalisiert etc.) und in den *Kontext* zur späteren

Wiederverwendung abgelegt. Die Aufbereitung und Integration der Daten der Ergebnismenge einer Exploration in die Kontextmenge wird als *Bewertung und Integration* und damit als eine explizite Veränderung der Inhalte der Kontextmenge definiert. Die im nächsten Schritt vorgenommene Informationsvisualisierung, d.h. die Abbildung der Information auf eine Informationsvisualisierung auf der Basis der Kontextmenge des Informationsdialoges und eines Visualisierungsmodells resultiert dann in der Regel in einem Informationsvisualisierungskontext. D.h., die Abbildung der Informationsobjekte der Kontextmenge eines Informationsdialoges mit Hilfe der Visualisierungsobjekte eines Visualisierungsmodells auf eine Menge von Informationsvisualisierungsobjekten innerhalb eines strukturierten Informationsvisualisierungskontextes wird von uns im folgenden als *Informationsvisualisierung* bezeichnet.

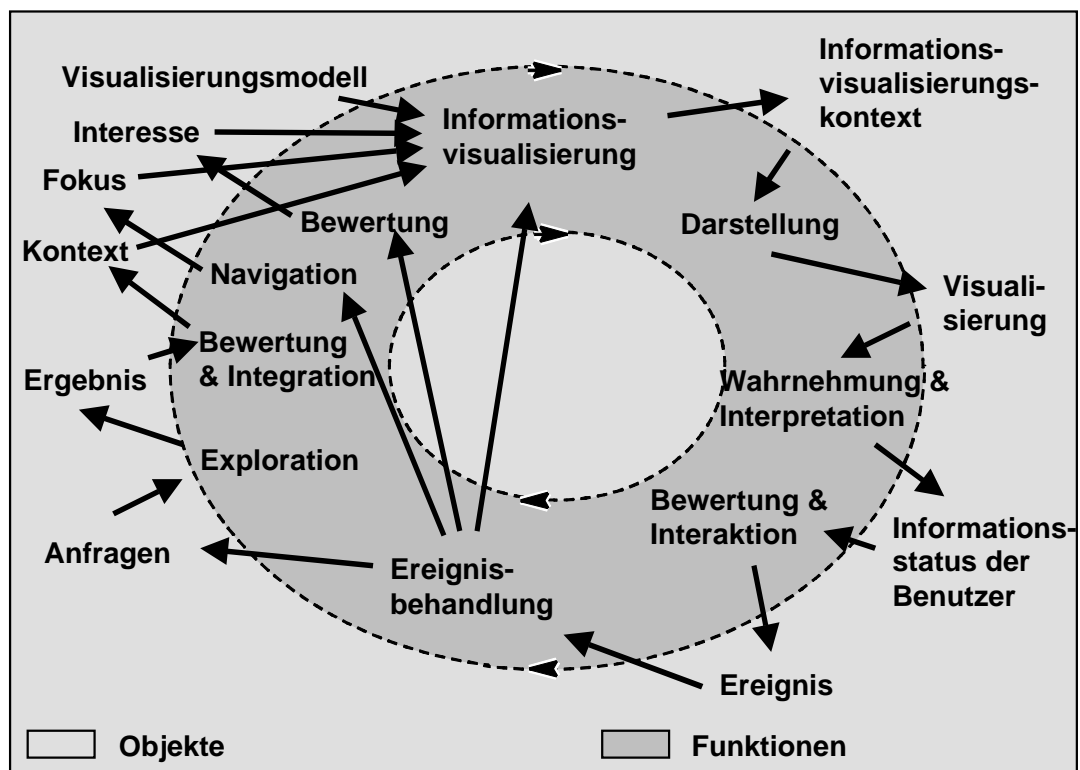


Abbildung 16: Interaktiver Informationsvisualisierungszyklus

Dabei verstehen wir unter einem Visualisierungsobjekt eine Beschreibung einer visuell wahrnehmbaren bildlichen Darstellung eines Gegenstandes. Eine Beschreibung einer Menge von Visualisierungsobjekten und der Regeln nach denen diese Objekte auf visuell wahrnehmbare Weise miteinander innerhalb eines Bild dargestellt werden verstehen wir im folgenden folglich als *Visualisierungsmodell*. Weiterhin verwenden wir den Begriff *Informationsvisualisierungsobjekt* für eine Beschreibung einer visuell wahrnehmbaren

bildlichen Darstellung eines Informationsobjektes während die strukturierte Beschreibung der Verknüpfung aller Informationsvisualisierungsobjekte der Kontextmenge eines Informationsdialoges als *Visualisierungskontext* bezeichnet wird.

Der Informationsvisualisierungskontext wird im Anschluß an die Informationsvisualisierung durch ein computergraphisches Darstellungsverfahren (z.B. Rendering) in Form visueller Objekte im Sinne von Bildern oder Bildsequenzen dargestellt und damit erstmals für die Benutzer tatsächlich visuell wahrnehmbar. Wir bezeichnen diesen Prozeß im folgenden als *Darstellung*. Die Beschreibung des Ergebnisses einer Darstellung des Informationsvisualisierungskontextes bezeichnen wir im weiteren Verlauf der Arbeit als *Visualisierung*. Im nächsten Schritt des in Abbildung 16 dargestellten Modells eines interaktiven Informationsvisualisierungszyklus erfolgt die *Wahrnehmung* und damit der Beginn der *Interaktion* des Benutzers mit der Visualisierung. Die aus der Interaktion des Benutzers mit der Visualisierung resultierenden *Ereignisse* werden daran anschließend vom System innerhalb einer *Ereignisbehandlung* dahingehend interpretiert, daß festgestellt wird, wie das System das Ereignis interpretieren muß und ob vom Benutzer ein Dialogakt auf der Visualisierung selbst oder aber auf den visualisierten Inhalten vorgenommen wurde. Dabei bezeichnen wir im folgenden die erstgenannte Kategorie von Interaktionen sowie deren korrespondierende Dialogakttypen als *unmittelbare Interaktionen* mit der Informationsvisualisierung und damit mit der Kontextmenge des Informationsdialoges, da sie keine Veränderung der Kontextmenge und damit keinen Zugriff auf die Datenquelle und eine entsprechende Veränderung der Kontextmenge beinhalten. Die zweite Kategorie von Interaktionen und ihre korrespondierenden Dialogakttypen bezeichnen wir als *mittelbare Interaktionen*, da sie eine Veränderung der Kontextmenge und damit einen Zugriff auf die Datenquelle sowie eine entsprechende Veränderung der Kontextmenge beinhalten. Falls also eine mittelbare Interaktion erkannt wurde, werden entsprechend des Dialogakttypes und seiner Parametrisierung durch den Benutzer innerhalb der Interaktion neue Daten von der Datenquellebene akquiriert und der gesamte Zyklus wird erneut durchlaufen. Es ist jedoch auch vorstellbar, daß eine unmittelbare Interaktion vorliegt, welche den informationellen Kontext des visuell-direktmanipulativen Dialoges nicht erweitert und daß die Interpretation des vorliegenden Dialogaktes innerhalb der Ereignisbehandlung nur eine weiterführende Transformation der Daten innerhalb des bereits existierenden informationellen Kontextes und/oder eine Veränderung des Informationsvisualisierungskontextes durch Manipulation des

Visualisierungsmodells oder der Informationsvisualisierungsparameter veranlaßt. Auch bei einem Wechsel des Visualisierungsmodells und einer korrespondierenden Anpassung der Parameter der Informationsvisualisierungsfunktion handelt es sich nach unserem Verständnis um eine unmittelbare Interaktion innerhalb des bereits existierenden Kontextes des Informationsdialoges.

5 Entwurf von interaktiven Informationsvisualisierungen

Dieses Kapitel enthält den Entwurf von interaktiven Informationsvisualisierungen, welche auf der Grundlage des im vorigen Kapitel eingeführten Informationsdialogmodells eines explorierenden, navigierenden und bewertenden Informationsdialoges mit Information-Retrieval-Datenquellen konkretisiert werden und auf der Basis von dreidimensionalen computergraphischen Visualisierungsmodellen zur Unterstützung der in Form von verschiedenen Dialogakttypen definierten Benutzeraktivitäten in visuell-direktmanipulativen Informationsdialogen entwickelt werden. Weiterhin wird eine Modularisierung von zu den Informationsvisualisierungsmodellen korrespondierenden interaktiven Informationsvisualisierungskomponenten aufbauend auf dem ebenfalls im vorigen Kapitel entwickelten interaktiven Informationsvisualisierungsmodell vorgestellt. Im nachfolgenden Kapitel wird dann abschließend die Realisierung einer Integration und Anwendung der resultierenden Informationsvisualisierungswerkzeuge innerhalb der prototypischen Benutzungsschnittstelle „LyberWorld“ [Hemmje et al. 94a][Hemmje et al. 94b] beschrieben. Der LyberWorld-Prototyp realisiert mit seiner visuell-direktmanipulativen Benutzungsschnittstelle ein Informationsvisualisierungssystem. Es erschließt die Inhalte einer Informationsquelle in Form einer großen Volltextdatenbank mit Hilfe der leistungsfähigen Retrievalfunktionen einer Datenquelle, gegeben in Form von INQUERY, einem probabilistischen Volltext-Information-Retrieval-System ([Callan et al. 92]) für die effiziente Verwaltung und das effiziente Durchsuchen großer Volltext-Dokumentkollektionen, die von Benutzern in visuell-direktmanipulativen Informationsdialogen erschlossen, navigiert, bewertet und weiterverarbeitet werden können.

5.1 Ausgangspunkt des Systementwurfs

Betrachtet man als Ausgangspunkt des Systementwurfs Benutzungsschnittstellen zu herkömmlichen bibliographischen oder Volltext-Information-Retrieval-Systemen, so werden, wie bereits ausführlicher in den Kapitel 2 und 3 ausgeführt, den Benutzern in der Regel Ergebnismengen von Volltextdokumenten z.B. in Form einer sequentiellen Liste von Dokumenttiteln präsentiert, die unter Umständen auf mehrere Bildschirmseiten aufgeteilt

werden muß. Andere Systeme beschränken sich auf die Anzeige einer Auswahl von besonders relevanten Dokumenten, ohne daß die individuelle strategische oder operationale Aufgabensituation der Benutzer im Informationsdialog berücksichtigt oder die aktuelle informationelle Kontextmenge visualisiert wird. Die Entscheidung über den Relevanzwert eines Dokumentes sowie über die Art und Weise seiner Selektion aus der Dokumentmenge und der Darstellung gegenüber den Benutzern trifft dabei nur das System. Durch dieses Verfahren wird Benutzern Information vorenthalten, da sie nichts über Dokumente, die vom System als ungenügend relevant für die Anzeige beurteilt werden, erfahren. Des weiteren kann eine Listendarstellung keine Information über Beziehungen zwischen den Dokumenten untereinander und den Dokumenten in der gesamten Kontextmenge des aktuellen Informationsdialoges liefern [Hemmje et al. 94a]. Ziel einer besseren Informationspräsentation an der Benutzungsoberfläche muß es somit unter anderem sein, die Art und Weise der Sichtung und Auswahl bestimmter Dokumentgruppen aus der vom Informationssystem angebotenen Ergebnismenge oder auch aus der gesamten Kontextmenge den Benutzern zu überlassen oder ihnen zumindest eine stärkere Kontrolle über den Prozeß der automatisierten Gewinnung, Auswahl und Anzeige derartiger Information zu geben. Das Informationssystem soll also weniger die selbständige, einmalige, automatische und endgültige Auswahl und Bewertung bestimmter Informationsergebnismengen leisten als vielmehr wiederholt die effiziente Darstellung und Manipulation einer möglichst vollständigen und sich von Dialogschritt zu Dialogschritt verändernden Kontextmenge und ihrer korrespondierenden Relevanzbewertungen, welche bezüglich der innerhalb des explorativen Informationsdialoges gestellten Anfragen seitens des Informationssystems und bezüglich des zugrundeliegenden Informationsbedürfnisses seitens der Benutzer, die damit den Grad der Zugehörigkeit von Ergebnismenge zu ihrer Interessensmenge bewerten können, ausgedrückt werden. Korfhage formuliert dies in der Forderung: "...the viewpoint should shift from retrieval to display" [Korfhage 91]. Unsere Anforderungen an ein Informationssystem bestehen darum nicht nur in der Unterstützung der Benutzer durch einen möglichst leistungsfähigen Information-Retrieval-Algorithmus, sondern auch in einer visuell-direktmanipulativen Benutzerführung, die eine möglichst sichere Erschließung dieser Leistungsfähigkeit sowie eine flexible Parametrisierung und Kontrolle der Durchführung des Information-Retrieval-Algorithmus mit Hilfe der Steuerungsfunktionen der korrespondierenden Information-Retrieval-Maschine erlaubt [Hemmje et al. 94a].

Als Ausgangspunkt des Entwurfs ist neben der Information-Retrieval-Funktionalität des Basissystems auch der konkrete Gegenstand der Informationsvisualisierung und dessen strukturelle Repräsentation innerhalb der vorliegenden Anwendung genauer festzulegen. Wie bereits auf einer generischeren Ebene in Kapitel 4 ausgeführt, lassen sich während des Informationsdialoges verschiedene Informationsmengen unterscheiden. Der informationelle Inhalt der Datenbank, d.h. die Menge aller Informationsobjekte, die von den in der Datenbank gespeicherten Dokumenten getragen wird, wird dort als Inhaltsmenge bezeichnet. Die Menge aller Dokumente, die eine Relevanz zum Benutzerinteresse und damit zur Befriedigung des korrespondierenden Informationsbedürfnisses haben, wird als Interessensmenge bezeichnet. Die Interessensmenge ist nicht unbedingt eine Teilmenge der Inhaltsmenge, denn möglicherweise enthält die Datenbank nicht die Information, die der Benutzer benötigt. Haben die Inhaltsmenge und die Interessensmenge eine gemeinsame Teilmenge, so ist dies die Menge der relevanten Dokumente, die der Benutzer im visuell-direktmanipulativen Informationsdialog mit dem Informationssystem mit Hilfe der dort integrierten Information-Retrieval-Maschine und der Informationsvisualisierungskomponenten der Benutzungsschnittstelle explorieren und isolieren möchte.

Im Laufe eines interaktiven Information-Retrieval-Prozesses auf der Grundlage eines iterativen Informationsdialoges werden Teilmengen der Inhaltsmenge durch die Ausführung von Anfragen des Benutzers innerhalb von Explorationen zu Ergebnismengen. Die Vereinigung dieser Teilmengen wird als Kontextmenge bezeichnet, da ihr Inhalt einen Zusammenhang zwischen dem Inhalt der Datenbank und den explorativen Anfragen der Explorationen des Benutzers, somit den expliziten Formalisierungsversuchen seines Informationsbedürfnisses und somit einem Beschreibungsversuch eines Teiles seiner Interessensmenge herstellt. Die Kontextmenge ist jedoch nicht unbedingt identisch mit dem gewünschten Ergebnis des Gesamtinformationsprozesses, der sogenannten Relevanzmenge, da sie auch Dokumente enthalten kann, die von den Benutzern im Gegensatz zum System als nicht relevant eingestuft werden. Die Kontextmenge stellt somit lediglich eine Teilmenge der Inhaltsmenge dar und enthält als sogenannte Kernmenge die Menge aller vom Benutzer hinsichtlich ihrer Relevanz bezüglich seines Informationsbedürfnisses positiv bewerteten Informationsobjekte der Kontextmenge des bisherigen Informationsdialoges.

Die Inhaltsmenge der Datenquelle wird in der Datenbasis herkömmlicher Volltext-Information-Retrieval-Systeme in der Regel als eine Sammlung von unstrukturierten Volltextdokumenten einschließlich einer strukturierten Hilfsdatensammlung für den Information-Retrieval-Algorithmus repräsentiert. Die Dokumentkollektion besteht darüber hinaus aus den Dokumentinhalten selbst, sowie aus einer geringen Menge von strukturierten Meta-Daten wie z.B. dem Titel des Dokumentes, den Namen der Autoren oder den Veröffentlichungsdaten und Referenzen etc. Die strukturierte Hilfsdatensammlung ist in der Regel ebenfalls mit den Dokumentdaten verknüpft, um Daten über den semantischen Inhalt der Dokumente formal in Form eines sogenannten *Index* zu repräsentieren. Sie dient darüber hinaus der effizienten automatischen Selektion von Dokumenten der Datenbasis nach den Anforderungen der Benutzer. Da die beiden genannten Datenstrukturen sehr unterschiedliche Aufgaben haben, fordern [Agosti et al. 91] diese Unterschiede auch explizit innerhalb der Benutzungsschnittstelle zu repräsentieren und in der Architektur von Informationssystemen die Möglichkeit vorzusehen, sowohl auf der Ebene der Inhaltsmenge der Datenquelle als auch auf der Ebene der Hilfsdaten Information-Retrieval-Informationsdialoge führen zu können. Die erste Ebene stellt dabei die Ebene der relevanten Informationsobjekte (d.h. im Falle des Volltext-Information-Retrievals die Ebene der Dokumente) dar. Die zweite Ebene enthält die mit den Informationsobjekten der Dokumente verbundenen informationellen Konzepte welche die Inhalte der Informationsobjekte beschreiben, im Falle einer Indexierung durch Einzelterme also die Terme, die jeweils durch das Konzept, das von ihnen repräsentiert wird, mit einem Informationsobjekt und dessen Dokument in einer bestimmten Dokumentmenge in Verbindung stehen. Wir stellen die weitergehende Forderung auf, diese Ebenen auch bei der Konzeption der Benutzungsschnittstelle, in unserem Fall also bei der Definition des Gegenstandes der Informationsvisualisierung und damit der Inhalte der Inhaltsmenge und deren Visualisierung an der visuell-direktmanipulativen Benutzungsschnittstelle zu berücksichtigen. Die Benutzer benötigen darüber hinaus Wissen über Indexterme, also Elemente der Hilfsdatenebene, um eine explorative Navigation oder eine gezielte Suche im Inhaltsraum beginnen zu können, da sie ansonsten ihr Interesse (oder zumindest einen geeigneten informationellen Ausgangspunkt für einen durch ihr Interesse bestimmten Informationsdialog) nur schwer beschreiben können und damit der informationelle Ausgangspunkt des Informationsdialoges nicht kommuniziert werden kann. Aus diesem Grund realisieren wir in unserem speziellen Anwendungsdesign,

in Anlehnung an die Forderung von [Agosti et al. 91], eine Möglichkeit, während der visuellen Anfrageformulierung transparent auf das Wörterbuch der Volltext-Datenbank zugreifen zu können, um die Indexterme und deren Beziehungen zur Dokumentmenge einzusehen (siehe auch [Rudolph & Hemmje 94]).

Ähnliche mehrstufige Repräsentationsmodelle und Abstraktionen von Hilfs- und Metadaten sind im Bereich der konzeptionellen Theorie zu interaktiven Information-Retrieval-Benutzungsschnittstellen seit langem Stand der Wissenschaft oder zumindest Gegenstand intensiver Forschung (siehe Kapitel 2 und 3). Die in der Regel mit Bäumen oder Graphen verwandten strukturellen Repräsentationsmodelle für Inhaltsmengen oder Kontextmengen und die Historie der Informationsdialoge auf diesen Mengen werden jedoch bisher nur in wenigen Ansätzen explizit an der Benutzungsoberfläche visualisiert, um dem Benutzer die Aufnahme und das Verständnis des momentanen Zustandes seines Informationsdialoges hinsichtlich des Explorations-, Navigations- und Bewertungszustandes sowie der Struktur der Dialoghistorie selbst zu erleichtern. Vielmehr besteht der eigentliche Zweck von derartig mehrschichtig strukturierten Repräsentationen von Kontext-, Navigations-, Explorations- und Bewertungsmodellen darin, die Grundlage für den Entwurf und die Entwicklung von automatischen Information-Retrieval-Systemen bzw. die abstrakten Repräsentationsmodelle für einen Benutzungsschnittstellenentwurf mit integriertem Dialogmanagement zu bilden. Neben den räumlichen Eigenschaften des bereits erwähnten Zwei-Schichten-Ansatzes von [Agosti et al. 91] und Netzen zur semantischen Wissensrepräsentation besitzt darüber hinaus insbesondere auch das Vektorraummodell räumliche Eigenschaften, die jedoch bisher genauso wenig für eine Visualisierung der Historie, des Explorations-, des Navigations-, und des Bewertungszustandes eines Informationsdialoges innerhalb der Benutzerschnittstellen zu Informationssystemen genutzt werden. Obwohl also bereits einige Grundlagen zum Einsatz von Methoden der visuell-direktmanipulativen Informationsvisualisierung vorhanden wären, werden Benutzungsschnittstellen zu Informationssystemen nach wie vor weitestgehend Kommando- bzw. formblattorientiert entworfen [Shneiderman et al. 97].

5.2 Entwurf der Informationsvisualisierungen

Der Einsatz von Informationsvisualisierungsmethoden zur Verbesserung der Benutzbarkeit eines Informationssystems zielt darauf ab, den Benutzern eine möglichst komfortable Unterstützung bei der Erstellung ihrer Anfragen sowie bei der Wahrnehmung,

Interpretation, Analyse, Bewertung und weiteren Verarbeitung der vom System präsentierten Ergebnismengen zu bieten. Der LyberWorld-Prototyp [Hemmje et al. 94a] implementiert Informationsvisualisierungskomponenten für Informationsvisualisierungsfunktionen zur räumlichen Abbildung von Information-Retrival-Informationsdialogmodellen und setzt zur Darstellung dieser Abbildungsergebnisse dreidimensionale computergraphische Bilderzeugungsverfahren ein. Das Design der Informationsvisualisierungsfunktionen innerhalb der Benutzungsschnittstelle konzentriert sich dabei darauf, den Informationsdialog für den Benutzer transparent zu gestalten, das heißt, ihm die Möglichkeit zu geben, seine Entwicklung anhand der Informationsvisualisierung eines inhaltsorientierten, explorativen, navigierenden und bewertenden Informationsdialoges visuell zu erfassen, zu verfolgen und den weiteren Verlauf des Dialoges auf der Basis der Informationsvisualisierung visuell-direktmanipulativ zu kontrollieren und zu steuern. Um dieses Ziel zu erreichen, wird im folgenden die Kontextmenge als der explorierte Teil der Inhaltmenge einer Datenquelle entsprechend einer Folge von Explorations- und Navigationsdialogakten in Form sogenannter *Kontextbäume* auf die Struktur der Explorationshistorie des Informationsdialoges abgebildet und visualisiert. Die Informationsvisualisierung erfolgt mittels einer Abbildung der während der einzelnen Dialogschritte innerhalb des Kontextbaumes explorierten Ergebnismengen auf eine Weiterentwicklung des Visualisierungsmodells sogenannter *Kegelbäume* [Robertson et al. 91] in Form von *spiralisierten Kontextkegelbäumen*. Dabei wird die Kontextmenge und ihre Explorationsstruktur auf die Baumstruktur dieser abstrakten Informationsvisualisierungsmetapher abgebildet. Die Benutzer werden somit in die Lage versetzt, die Dokumente der Inhaltmenge der Datenquelle dadurch zu untersuchen, daß sie inhaltsorientiert entlang von Informationsvisualisierungen von Informationsobjekten bestehend aus explorativen Dialogakten und deren Ergebnismengen in Form von *Blättchen* sowie *Kegeln* und *Ringen* eines Kegelbaumes visuell-direktmanipulativ auf der Kontextmenge ihres Informationsdialoges mit der Datenquelle navigieren und weiter explorieren können. Hierbei wird die natürliche Fähigkeit des Menschen zur visuellen Wahrnehmung dreidimensionaler Ansichten der Welt zur Erfassung der Gegenstände, Aktivitäten und Strukturen eines explorierenden, navigierenden und bewertenden Informationsdialoges eingesetzt.

Innerhalb einer derartigen Benutzungsschnittstelle können Explorationsstrukturen in einem räumlichen Layout angeordnet und auf visuelle Art und Weise dargestellt werden. Informationstragende textuelle Objekte einer Datenquelle können von den Benutzern über die visuell-direktmanipulative Exploration, Wahrnehmung, Orientierung und Navigation der Objekte hinausgehend auch interaktiv inspiziert, bewertet und weiterverarbeitet werden. Dabei werden informationelle Eigenschaften von informationstragenden Datenmengen ebenso wie ihre interne Struktur durch visuelle Kodierung visuell wahrnehmbar. Grundsätzlich können beim Entwurf einer visuellen Informationsdarstellung Informationsobjekte und Informationsmengen mit Eigenschaften quantitativer, ordinaler oder nominaler Natur auf visuelle Attribute wie Position, Größe, Form, Dichte, Farbwert und Farbsättigung, Textur etc. abgebildet werden. In gleicher Weise lassen sich strukturelle und semantische Beziehungen zwischen Informationsobjekten durch visuelle Eigenschaften wie Verknüpfung, Beinhaltung und Orientierung ausdrücken [Card et al. 91]. Relevanz von Informationsobjekten läßt sich z.B. gut durch Position, Größe oder Farbintensität der entsprechenden Informationsvisualisierungsobjekte innerhalb der Informationsvisualisierung kodieren.

Innerhalb der folgenden Abschnitte beschreiben wir zunächst den Entwurf einer Informationsvisualisierung zur interaktiven Exploration und Navigation der Kontextmenge im Informationsdialog, den sogenannten *spiralisierten Term-Dokument-Kontextkegelbaum*. Zur Präsentation und informationellen Evaluation der mit dem Kontextbaum erzeugten Ergebnismenge wird im darauffolgenden Abschnitt die *Term-Dokument-Relevanzkugel*-Informationsvisualisierung für das zweite Visualisierungs- und Interaktionswerkzeug des LyberWorld-Prototyps, die *Relevanzkugel* auf der Grundlage einer *Relevanzbewertungsmatrix* zur Repräsentation von Relevanzwerten und Bewertungen im Informationsdialog und auf der Grundlage eines *Referenzpunkt-Kugel*-Visualisierungsmodells entworfen. Mit der Relevanzkugel können Ergebnismengen, die mit Hilfe des Kontextkegelbaumes exploriert wurden, analysiert und bewertet werden.

5.2.1 Der Kontextkegelbaum

In der angestrebten Informationsvisualisierung erarbeiten die Benutzer sich durch eine Folge von visuell-direktmanipulativen Dialogschritten, die im wesentlichen aus Explorationen, Navigationen und Bewertungen bestehen, die Kontextmenge eines Informationsdialoges. Die Informationsvisualisierung des im folgenden beschriebenen

Term-Dokument-Kontextkegelbaum-Informationsvisualisierungsmodells auf der Grundlage des Informationsdialogmodells für einen *explorierenden, navigierenden und bewertenden Term-Dokument-Informationsdialog* zur Repräsentation der Kontextmenge und der Explorationsstruktur des Informationsdialoges sowie auf der Basis des ebenfalls im folgenden beschriebenen *Kegelbaum*-Visualisierungsmodelles bietet für die Unterstützung der Benutzeraufgaben Exploration und Navigation ein Informationsvisualisierungsmodell, welches die Benutzer einerseits durch die Darstellung der Informationsobjekte der Kontextmenge sowie andererseits durch die Darstellung der Explorationsstruktur und damit deren Entwicklung innerhalb der Historie des Informationsdialoges unterstützt. Für eine gute visuelle Erfäßbarkeit des Informationsdialoges ist also nicht nur die Visualisierung der Informationsobjekte der erzeugten Kontextmenge wesentlich, sondern auch die strukturelle Verknüpfung derselben anhand der Explorationsstruktur innerhalb der Historie des Informationsdialoges und dabei insbesondere anhand der Navigationsposition innerhalb der Kontextmenge des Informationsdialoges an der die explorative Aufnahme neuer Informationsobjekte in die Kontextmenge erfolgt ist.

Die Repräsentation der Informationsobjekte in der Kontextmenge, sowie ihrer Verknüpfungen durch eine Konkretisierung der Explorationen und deren Anfragen sind somit der Modellierungsgegenstand des im folgenden beschriebenen Informationsdialogmodells des LyberWorld-Prototyps. Dabei werden innerhalb dieses konkretisierten Modells des Informationsdialoges die ebenfalls im folgenden beschriebenen konkreten Kategorien von Informationsobjekten der Kontextmenge unterstützt.

(1) Der Term-Dokument-Informationsdialog im LyberWorld-Prototypen

Die Teilmenge von Informationsobjekten in der Inhaltsmenge einer Datenquelle des LyberWorld-Prototyps, welche durch die vollständigen Textdaten von Dokumenten repräsentiert werden, bezeichnen wir als die *Dokumentmenge* der Datenquelle. Für eine Datenquelle $s \in SOURCE$ ist das $DOCUMENTS_s \subseteq CONTENT_s$. Die Menge von Informationsobjekten in der Inhaltsmenge einer Datenquelle des LyberWorld-Prototyps, welche durch die Textdaten von Termdeskriptoren von Dokumenten repräsentiert werden, bezeichnen wir als die *Termmenge* der Datenquelle. Für eine Datenquelle $s \in SOURCE$ ist das $TERMS_s \subseteq CONTENT_s$. Damit ergibt sich die Inhaltsmenge $CONTENT_s$ für eine

Datenquelle $s \in SOURCE$ im LyberWorld-Prototyp zu $CONTENT_s = TERMS_s \cup DOCUMENT_s$.

Die Menge von Informationsobjekten, welche im LyberWorld-Prototyp die Beschreibungen von Informationsanforderungen von Dokumenten an eine Datenquelle beinhalten, definiert den Raum der *Dokumentanfragen*. Für eine Datenquelle $s \in SOURCE$ ist das $DOCUMENTQUERY_s \subseteq QUERY_s$. Die Menge von Informationsobjekten, welche im LyberWorld-Prototyp die Beschreibungen von Informationsanforderungen von Termen an eine Datenquelle beinhalten, bezeichnen wir als den Raum der *Termanfragen*. Für eine Datenquelle $s \in SOURCE$ ist das $TERMQUERY_s \subseteq QUERY_s$. Damit ergibt sich der Raum der Anfragen $QUERY_s$ für eine Datenquelle $s \in SOURCE$ im LyberWorld-Prototyp zu $QUERY_s = TERMQUERY_s \cup DOCUMENTQUERY_s$.

Für eine Dokumentanfrage $q_d \in DOCUMENTQUERY_s$ an eine Datenquelle $s \in SOURCE$ definiert die Funktion $result_s : QUERY_s \rightarrow 2^{CONTENT_s}$ im LyberWorld-Prototyp die *Dokumentergebnismenge* $result_s(q_d) \subseteq DOCUMENT_s$. Für eine Termanfrage $q_t \in TERMQUERY_s$ an eine Datenquelle $s \in SOURCE$ definiert die Funktion $result_s : QUERY_s \rightarrow 2^{CONTENT_s}$ im LyberWorld-Prototyp die *Termergebnismenge* $result_s(q_t) \subseteq TERM_s$. Bei einem Informationsdialog existiert wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben immer ein ausgezeichnetes Informationsobjekt, welches den Fokus des Informationsdialoges bildet. Der Fokus kann dementsprechend im LyberWorld-Prototyp ein *Termfokus* oder ein *Dokumentfokus* sein. Gleiches gilt für Navigationen, welche nach Auswahl eines Informationsobjektes der Kontextmenge den Fokus des Informationsdialoges auf das gewählte Element verändern. Je nach Typ des Zielinformationsobjektes der Navigation innerhalb der Kontextmenge bezeichnen wir diese Navigationen im LyberWorld-Prototyp als *Termnavigation*, welche durch den entsprechenden Navigationszielterm t mit $t \in TERMS_s$ beschrieben werden kann, oder als *Dokumentnavigation*, welche durch das entsprechende Navigationszieldokument d mit $d \in DOCUMENTS_s$ beschrieben werden kann. Das heißt, Dialogakte, welche auf Navigationen beruhen, werden durch Elemente aus $TERMS_s$ bzw. $DOCUMENTS_s$ beschrieben.

Konkrete Ausprägungen von Term- und Dokumentanfragen ergeben sich, wie bereits beschrieben, aus dem Benutzerinteresse und seiner Entwicklung sowie den daraus resultierenden Explorationsaktivitäten der Benutzer innerhalb des Informationsdialoges, also aus der Kontextmenge und deren Explorationsstruktur entlang der Historie des Informationsdialoges. Innerhalb der vom LyberWorld-System unterstützten Volltext-Information-Retrieval-Anwendung besteht eine Termanfrage aus einem inhaltsspezifizierenden Dokument und die zugehörige Ergebnismenge aus allen Termen, die hinsichtlich dieses Dokumentes relevant sind. Weiterhin besteht eine Dokumentanfrage aus einem inhaltsspezifizierenden Term und die zugehörige Ergebnismenge aus allen Dokumenten, die hinsichtlich dieses Terms relevant sind. Zur Formulierung solcher Term- und Dokumentanfragen ist es nicht notwendig, daß die Benutzer eine formale Anfragesprache beherrschen, sondern es genügt, wenn sie im vorliegenden Anwendungsfall auf einen Term- oder ein Dokumentfokus navigieren und diesen interaktiv als Parameter für eine Anfragekonstruktion durch das Informationssystem damit als Grundlage für eine Exploration auswählen können. Das Informationssystem kann dann auf die entsprechende Anforderung des Benutzers hin aus diesem Navigationszustand mit Hilfe einer entsprechenden Anfragekonstruktionsfunktion die entsprechenden Term- oder Dokumentanfrage für die gewünschte Exploration ableiten und mit Hilfe der Retrievalfunktionen ausführen. Gleichzeitig kann man diesen einfachen Fall aber auch als stellvertretend für die Verwendung von Unterstützungsfunktionen zur Erzeugung komplexerer Anfragen auf der Basis formaler Anfragesprachen und einer *interaktiven Benutzerparametrisierung dieser Anfragekonstruktionsfunktionen durch Navigation* innerhalb von Informationssystemen betrachten.

Zur Exploration der Kontextmenge mit Hilfe von Anfragekonstruktionsunterstützungen des Informationssystems steht den Benutzern im LyberWorld-Prototyp einerseits die Möglichkeit zur Verfügung, einen Term des Kontextbaumes als für das Benutzerinteresse relevanten Deskriptor und damit als Wurzel für eine weitere Exploration der Inhaltsmenge der Datenquelle auszuwählen. Die Kontextmenge wird danach um alle Dokumente erweitert, die hinsichtlich dieses Kontextterms relevant sind. Diese Art der Exploration der Kontextmenge nennen wir im folgenden *Dokumentexploration*. Die Dokumentexploration definiert einen Dialogakttyp und kann innerhalb der Historie eines explorierenden, navigierenden und bewertenden Informationsdialoges $h \in D_{s,u}$ zwischen einem Benutzer $u \in USER$ und einer Datenquelle $s \in SOURCE$ durch eine

Dokumentenfrageerzeugungsfunktion

$documentquery_s : TERMS_s \rightarrow DOCUMENTQUERY_s$ beschrieben werden.

Weiter wird den Benutzern anhand der aktuellen Kontextmenge die Möglichkeit gegeben, neue Suchterme zu finden, indem ihnen die Terme eines Dokumentes aus der Kontextmenge als Deskriptoren ihres Informationsbedürfnisses und damit als Parameter für neue Dokumentanfragen angeboten werden. Diese Exploration, die von einem Dokument der Kontextmenge ausgeht, nennen wir im folgenden *Termexploration*. Die Termexploration definiert einen Dialogakttyp und kann innerhalb der Historie eines Informationsdialoges $h \in D_{s,u}$ durch eine Termanfrageerzeugungsfunktion $termquery_s : DOCUMENTS_s \rightarrow TERMQUERY_s$ beschrieben werden.

Aufbauend auf diesen Konzepten können wir nun im folgenden die Definition unseres Informationsdialogmodells bezüglich der Anwendung im LyberWorld-Prototyp weiter konkretisieren. Wir definieren daher im folgenden den *explorativen, navigierenden und bewertenden Term-Dokument-Informationsdialog*.

**Definition 15: Explorativer, navigierender und bewertender
Term-Dokument-Informationsdialog**

Ein explorierender, navigierender und bewertender *Term-Dokument-Informationsdialog* $h \in D_{s,u}$ zwischen einem Benutzer $u \in USER$ und einer Datenquelle $s \in SOURCE$ ist eine endliche Folge (a_1, \dots, a_n) von Dialogakten $a_i \in (DOCUMENT_s \cup TERM_s) \cup (DOCUMENTQUERY_s \cup TERMQUERY_s) \cup ((DOCUMENTQUERY_s) \cup (TERMQUERY_s \times R^+))$, $i = 1, \dots, n$

wobei zusätzlich zu den Bedingungen aus Definition 13 für alle a_i , $i = 2, \dots, n$ gilt:

- $$\begin{aligned} (1) \quad a_i \in DOCUMENTQUERY_s &\Rightarrow \exists t \ (t \in (CONTEXT_{h,i-1} \cap TERM_s) \wedge a_{i-1} = t \wedge a_i = documentquery(t)) \\ (2) \quad a_i \in TERMQUERY_s &\Rightarrow \exists d \ (d \in (CONTEXT_{h,i-1} \cap DOCUMENT_s) \wedge a_{i-1} = d \wedge a_i = termquery(d)) \end{aligned}$$

und zusätzlich $a_1 \in TERM_s$.

In Definition 13 wurde schon festgelegt, daß jede Navigation (außer dem Startobjekt) nur aufgrund früherer Ergebnisse erfolgen kann. Jetzt fordern wir zusätzlich in (1) und (2), daß auch die Exploration aufgrund vorausgehender Navigationen erfolgen.

Da Term- und Dokumentexplorationen Spezialisierungen von Explorationen darstellen, werden beide Interaktionstypen selbst genauso zu Informationsobjekten wie Anfragen und Ergebnismengen und damit zum Gegenstand der Visualisierung.

(2) Das Term-Dokument-Kontextbaum-Modell im LyberWorld-Prototyp

Die Dialogschritte eines Informationsdialoges im LyberWorld-Prototyp bestehen wie oben beschrieben unter anderem aus Term- und Dokumentexplorationen der Inhaltsmenge mittels Term- und Dokumentanfragen an die Datenquelle und dem daraus resultierenden Hinzufügen des Term- oder Dokumentanfrageergebnisses zur Kontextmenge sowie aus Term- und Dokument Navigationsaktivitäten der Benutzer. Das im folgenden konstruktiv hergeleitete Term-Dokument-Kontextbaum-Modell zur Repräsentation der Elemente und der Explorationsstruktur der Kontextmenge eines explorierenden, navigierenden und bewertenden Term-Dokument-Informationsdialoges im Prototyp LyberWorld muß also besonderen Wert auf die Repräsentation *der Term- und Dokumentergebnisselemente* der Term- und Dokumentexplorationen, *der strukturellen Verknüpfung der Term- und Dokumentexplorationsergebnisse* untereinander sowie *der Navigationszustände vor dem Start jeder Exploration* eines Informationsdialoges legen.

Der Begriff des *Term-Dokument-Kontextbaumes* bezeichnet somit im folgenden einen Baum, dessen Wurzel aus einem frei wählbaren Term der Inhaltsmenge einer Datenquelle besteht. Die Wurzel des Kontextbaumes repräsentiert dabei den Navigationszustand und damit den Startfokus vor einer ersten Dokumentexploration, deren Dokumentanfrage durch den Wurzelterm parametrisiert wird. Der Termwurzelknoten ist durch eine Menge von Kanten, welche die Dokumentexploration repräsentieren, mit seinen Kinderknoten verknüpft, welche die Dokumente des Dokumentanfrageergebnisses der Dokumentexploration repräsentieren. Die Dokumente des Ergebnisses der Dokumentanfrage, die folglich als Blattknoten des Termwurzelknoten des Term-Dokument-Kontextbaumes repräsentiert werden, können dann selbst wieder zur Dokumentwurzel eines Unterbaumes und damit zum Startfokus einer weiterführenden Termexploration werden, welche durch das Wurzeldokument der Termexploration parametrisiert wird und welche analog zur o.g. Abbildung der Dokumentanfrageergebnisse

nun weitere Termbblätter und rekursiv zur hier beschriebenen Abbildung weitere Unterbaumstrukturen des Term-Dokument-Kontextbaumes generiert.

Wir konstruieren im folgenden den Term-Dokument-Kontextbaum allgemein für einen explorierenden, navigierenden und bewertenden Term-Dokument-Informationsdialog. Aus Definition 15 folgt, daß ein explorierenden, navigierenden und bewertenden Term-Dokument-Informationsdialog $h \in D_{s,u}$ zwischen einem Benutzer $u \in USER$ und einer Datenquelle $s \in SOURCE$ mit $h = (a_1, \dots, a_n)$, $n \geq 2$ (für $n=1$ ist der Term-Dokument-Kontextbaum der Wurzelknoten) Paare von Dialogakten (a_{i-1}, a_i) , $a_{i-1} \in CONTEXT_{h,i-1}$ enthält, so daß

$$a_{i-1} \in \begin{cases} TERM_s \\ DOCUMENT_s \end{cases}, \quad a_i \in \begin{cases} DOCUMENTQUERY_s \\ TERMQUERY_s \end{cases}, \quad a_i = \begin{cases} documentquery(a_{i-1}) \\ termquery(a_{i-1}) \end{cases}.$$

Alle Anfragen treten in dieser Weise auf, sodaß der Kontext die Vereinigung der Resultate dieser Anfragen (und aus a_1) ist. Bemerkung: der Dialog könnte mit $\langle a_1, a_1, a_1, \dots \rangle$ beginnen!

Sei nun $\langle \langle k_1, q_1 \rangle, \dots, \langle k_m, q_m \rangle \rangle$ die Folge aller Paare von Dialogakten dieser Art in h . Wir zeigen nun durch Induktion, daß ein Term-Dokument-Kontextbaum gemäß Definition 16 konstruiert werden kann. Wir beschreiben dabei die Knoten eines Term-Dokument-Kontextbaumes durch $nodes(TDCTREE) \subseteq CONTENT_s \times (QUERY_s \cup ROOTQUERY)$ wobei der Wurzelknoten durch $(a_1, ROOTQUERY)$ gegeben ist. Wir definieren darauf aufbauend wie folgt:

Definition 16: Term-Dokument-Kontextbaum

Der *Term-Dokument-Kontextbaum* $TDCTREE$ zu einem explorierenden, navigierenden und bewertenden Term-Dokument-Informationsdialog $h \in D_{s,u}$ zwischen einem Benutzer $u \in USER$ und einer Datenquelle $s \in SOURCE$ mit $h = (a_1, \dots, a_n)$ ist folgendermaßen definiert:

- (1) $a_i \in QUERY_s \Rightarrow \forall r(r \in result_s(a_i) \exists n = (k, q))(k = r \wedge q = a_i)$
 - (2) $n = (k, q) \in nodes(TDCTREE) \setminus \{ROOT\}, k \in TERM_s$
- $$\Leftrightarrow \exists a_i(q = a_i \in TERMQUERY_s \wedge k \in result_s(a_i) \wedge$$
- $$n' = (k', q') \in innernodes(TDCTREE), (k' \in DOCUMENT_s$$
- $$\wedge a_i = termquery(k') \wedge$$
- $$successors(n') = (result_s(a_i) \times \{a_i\}))$$
- (3) $n = (k, q) \in nodes(TDCTREE) \setminus \{ROOT\}, k \in DOCUMENT_s$
- $$\Leftrightarrow \exists a_i(q = a_i \in DOCUMENTQUERY_s \wedge k \in result_s(a_i) \wedge$$
- $$n' = (k', q') \in innernodes(TDCTREE), (k' \in TERM_s$$
- $$\wedge a_i = documentquery(k') \wedge$$
- $$successors(n') = (result_s(a_i) \times \{a_i\}))$$

Der Wurzelknoten ist $(a_i, INIT)$.

Daraus folgt unmittelbar $CONTEXT_{h,n} = \{k | (k, q) \in nodes(TDCTREE)\}$ und, daß falls ein Dokument ein Element in mehreren Ergebnismengen ist, auch im Term-Dokument-Kontextbaum mehrere Knoten mit unterschiedlichen Anfrageannotationen für dieses Dokument existieren. Der Term-Dokument-Kontextbaum kann dann wie folgt konstruiert werden:

Für jede Anfrage a_i folgend auf eine Navigation a_{i-1} füge in den Term-Dokument-Kontextbaum an einem Blatt (a_i, q) die Resultate (x, a_i) der Anfrage als Nachfolger ein. Falls a_{i-1} kein Blatt ist, ist nichts zu tun. Da jede Navigation zu einem Element der Kontextmenge erfolgt ist dieses als Ergebnis einer früheren Anfrage (oder als a_i) selbst schon expandiert worden und ein entsprechender Knoten existiert im Term-Dokument-Kontextbaum.

Die Repräsentation der Term- und Dokumentinformationsobjekte in der Kontextmenge, sowie ihrer Verknüpfung durch Term- und Dokumentexplorationen auf der Grundlage von deren Term- und Dokumentanfragen sind somit der Modellierungsgegenstand des Term-Dokument-Kontextbaum-Dialogmodells.

Ein Beispiel für eine Term-Dokument-Kontextbaum-Repräsentation der Term- und Dokumentelemente der Kontextmenge eines Informationsdialoges und die Repräsentation ihrer strukturellen Verknüpfung innerhalb eines Term-Dokument-Kontextbaumes auf der

Basis der korrespondierenden Term- und Dokumentexploration, ist in Abbildung 17 dargestellt und wird im folgenden näher erläutert.

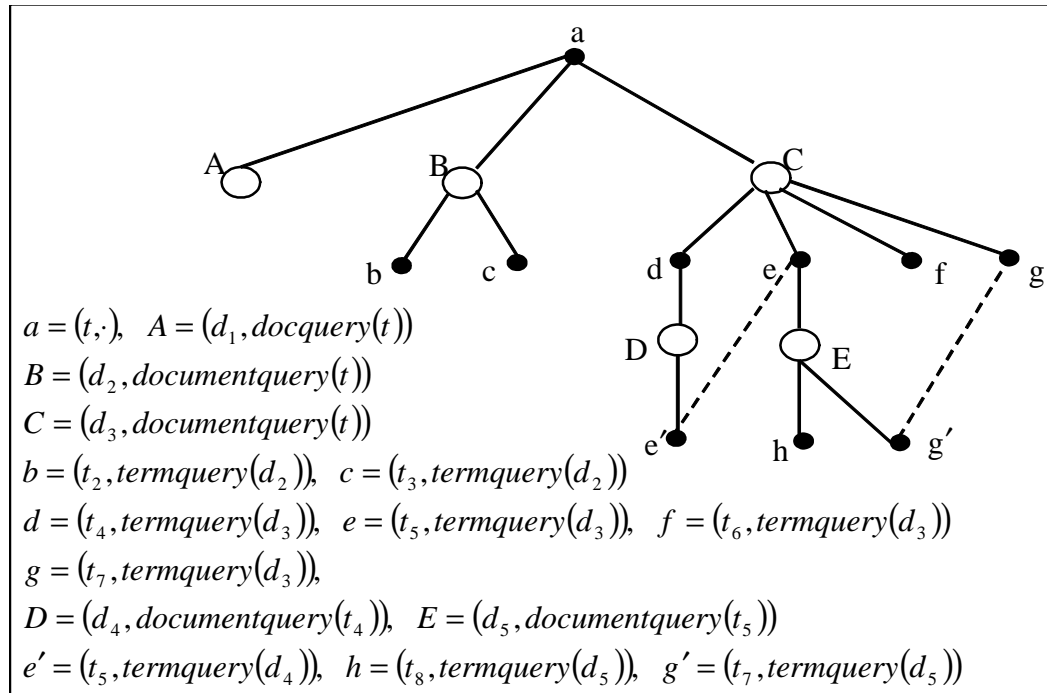


Abbildung 17: Beispiel einer Explorationsstruktur mit redundanten Knoten

Im dargestellten Beispielsfall stellen Kleinbuchstaben Termknoten dar, Großbuchstaben symbolisieren Dokumentknoten. Im Beispiel beginnt der Benutzer den Informationsdialog mit dem Term a . Die erste mittelbare Interaktion, eine Dokumentexploration der Kontextmenge ausgehend vom Term a , beinhaltet in der Ergebnismenge die Dokumente A , B und C , die entsprechend als Blattknoten von a angelegt werden. Der Benutzer navigiert durch eine unmittelbare Dokumentnavigation auf die neu entstandene Dokumentebene, wählt unmittelbar interaktiv Dokument B für eine weitere mittelbare Interaktion, eine Termexploration, aus und erhält die Terme b und c ; b und c sind die deskriptiven Terme des Dokuments B und werden dementsprechend auf der nächsttieferen Termebene als neue Ebene von Blattknoten visualisiert. Mit ihnen könnte nun eine Dokumentexploration durchgeführt werden.

Der Benutzer ist in unserem Beispielsfall jedoch zunächst an Dokument C interessiert. Er führt nach der unmittelbaren Dokumentnavigation auf C eine mittelbare Termexploration mit C durch und erhält die Terme d , e , f und g . Mit dem Term d , den eine unmittelbare Termnavigation in den Fokus des Dialoges bringt, wird daraufhin analog eine weitere Dokumentexploration durchgeführt. Das Ergebnis ist das Dokument D . Der Inhalt der

Kontextmenge wird erweitert zu *A*, *B*, *C* und *D*. Nun navigiert der Benutzer zu Dokument *D* und erhält nach einer weiteren Termexploration den Term *e*. Der Term *e* gehörte aber auch schon zu den Termen, die durch Exploration von *C* aufgenommen wurden. Dieser Effekt tritt im vorliegenden Anwendungsfall dann auf, wenn in verschiedenen Dokumenten gleiche Terme verwendet werden. Um den Baum räumlich konsistent zu halten, muß geregelt werden, wie die beiden Termknoten von *e* weiter behandelt werden. Da *e* im Baum zweimal vorkommt, kann der Informationsdialog potentiell an zwei verschiedenen Stellen explorativ fortgesetzt werden, wobei die erzeugten Unterbäume in beiden Fällen identisch sind.

Das in Abbildung 17 dargestellte Beispiel eines Term-Dokument-Kontextbaumes geht, wie bereits erwähnt, von der Volltextretrievalanwendung in LyberWorld aus und soll nun mit dem im folgenden beschriebenen Visualisierungsmodell eines Kegelbaumes visualisiert werden.

(3) Auswahl und Analyse des Kegelbaum-Visualisierungsmodells

Die zweidimensionale graphische Darstellung von Information ist weit verbreitet. Durch die Erweiterung des Darstellungsmediums um eine dritte, räumliche Dimension und durch Hinzunahme von Animation wird eine bezüglich der visuellen Ausdrucksfähigkeit erweiterte Form der Informationsvisualisierung erreicht. Information, die im Fokus also im „Vordergrund“ des Benutzerinteresses steht, kann nun im wörtlichen Sinn des Wortes auch im räumlichen Vordergrund angezeigt werden. Durch die Verwendung interaktiver Animation macht man sich außerdem im folgenden die Leistungsfähigkeit des visuellen Wahrnehmungssystems von Benutzern zum Zwecke der Orientierung innerhalb der Struktur von Visualisierungen zu Nutze. Im Rahmen des bereits vorgestellten Information-Visualizer-Prototyps des Xerox Palo Alto Research Centers wurden dazu verschiedene Visualisierungsmodelle entwickelt [Card et al. 91]. Aufbauend auf diesen Arbeiten wählen wir im folgenden ein Visualisierungsmodell zur Explorations- und Navigationsunterstützung aus und erweitern es auf geeignete Art und Weise.

Der Information-Visualizer-System realisiert u.a. ein animiertes, dreidimensionales Visualisierungsmodell für abstrakte Baumstrukturen, den bereits in Kapitel 3 vorgestellten, sogenannten *Kegelbaum*. In [Robertson et al. 91] werden die Eigenschaften von Kegelbäumen ausführlich beschrieben und gegenüber der Verwendung von zweidimensionalen Baumvisualisierungsmodellen mit einem zweidimensionalen

räumlichen Layout evaluiert. Wir wählen dieses Visualisierungsmodell für eine Informationsvisualisierung der Kontextmenge zur Unterstützung der Exploration, der Navigation und damit des Browsings auf den Informationsobjekten der Kontextmenge und konkretisieren die Anwendung des Visualisierungsmodells daran anschließend in der Beschreibung der Informationsvisualisierungsobjekte und der Informationsvisualisierungsfunktion für den Anwendungsfall des LyberWorld-Prototypen.

Die Knoten des zu visualisierenden abstrakten Baumes werden im Kegelbaumvisualisierungsmodell als etiketten- oder karteikartenartige Visualisierungsobjekte (im folgenden *Plättchen* genannt) mit textueller Beschriftung dargestellt. Diese werden ringförmig angeordnet und mit Hilfe von Kegeln miteinander verbunden. Kegelbäume können über die rein textuelle Annotation ihrer Knotensymbole hinaus durch Farb-, Form-, Intensitäts- und Transparenzkodierungen der Plättchen die Visualisierung weiterer Information leisten. Die hierarchische Beziehung zwischen einem Knoten und seinen direkten Kindern innerhalb der Baumstruktur wird innerhalb des Visualisierungsmodells durch einen *Kegel* symbolisiert. An der Spitze des Kegels steht das Plättchen zur Visualisierung des Wurzelknotens, an der Grundfläche des Kegels sind die Plättchen zur Visualisierung der Blattknoten ringförmig angeordnet. Jeder Blattknoten kann seinerseits wieder der Wurzelknoten eines untergeordneten (über einen Kegel mit der Wurzel verbundenen) Ringes sein. Um die Beschreibung des Kegelbaum-Visualisierungsmodells etwas zu präzisieren definieren wir im folgenden die Visualisierungsobjekte des Kegelbaumvisualisierungsmodelles.

Ein Visualisierungsobjekt, welches die Visualisierung eines Knotens in einem abstrakten Baum beschreibt, bezeichnen wir also im folgenden als *Plättchen*. Ein Visualisierungsobjekt, welches die Visualisierung der Kinderknoten eines Wurzelknotens in einem abstrakten Baum beschreibt, bezeichnen wir als *Ring*. Ein Visualisierungsobjekt, welches die Visualisierung der Kanten zwischen einem Wurzelknoten und seinen Kinderknoten in einem abstrakten Baum beschreibt, bezeichnen wir als *Kegel*. Ein Visualisierungsobjekt, welches die Visualisierung eines abstrakten Baumes mit Hilfe von Kegeln, Ringen und Plättchen beschreibt, bezeichnen wir als *Kegelbaum*. Die Kegel werden in der Visualisierung in der Regel transparent dargestellt, um Visualisierungsobjekte im Hintergrund nicht zu verdecken. Ein Plättchen eines Ringes, kann visuell-direktmanipulativ selektiert werden, indem es z.B. mit der Maus angeklickt wird. Der Kegelbaum rotiert und transliert daraufhin alle seine Unterbäume so, daß das

ausgewählte Plättchen und alle Plättchen auf dem Pfad zwischen ihm und der Wurzel des Kegelbaumes nach vorne, d.h. mit minimaler Distanz zum Blickpunkt und der Blickrichtung der jeweiligen Benutzer positioniert und orientiert sind. Diese in der Regel animiert dargestellte Rotation und Translation ermöglicht es den Benutzern, die geometrische Transformation des Baumes zu verfolgen und damit die Orientierung innerhalb der Topologie des Baumes zu behalten.

Wir nehmen das Kegelbaumvisualisierungsmodell im weiteren Verlauf zum Ausgangspunkt unseres Informationsvisualisierungsansatzes für die Kontextmenge des Informationsdialoges und die Navigations- und Explorationsoperationen der Benutzer auf dieser Kontextmenge. Im LyberWorld-Prototypen werden aufbauend auf das Term-Dokument-Kontextbaum-Dialogmodell und das Kegelbaum-Visualisierungsmodell die im folgenden beschriebenen Kategorien von Informationsvisualisierungsobjekten der Kontextmenge unterstützt.

(4) Abbildung des Informationsdialogmodells auf das Visualisierungsmodell

Durch iterative beziehungsweise rekursive Anwendung der oben beschriebenen Kontextexplorationsoperationen entsteht als Visualisierungsgegenstand wie oben beschrieben ein Term-Dokument-Kontextbaum der bei der Verwendung von Kegelbäumen als Visualisierungsmodell für die Kontextmenge eine räumliche Visualisierung, die alle Dokumente der Kontextmenge auf sogenannte *Dokumentplättchen* und alle Terme der Kontextmenge auf sogenannte *Termplättchen* in einer sogenannten *Term-Dokument-Kontextkegelbaum-Visualisierung* abbildet. Jeder Dokumentknoten des Term-Dokument-Kontextbaumes geht dabei in unserem Anwendungsfall auf eine Dokumentexploration, im Lyberworld-System ist dies eine Dokumentanfrage parametrisiert durch einen Termknoten, als Wurzel zurück. Ein Dokumentplättchen als Informationsvisualisierungsobjekt eines Dokumentknotens ist innerhalb der Term-Dokument-Kontextkegelbaumvisualisierung mit seinem Wurzeltermplättchen, das im konkretisierten Informationsvisualisierungsmodell einen termknoten visualisiert, durch einen sogenannten *Dokumentexplorationskegel* verbunden, der im konkretisierten Informationsvisualisierungsmodell eine Kante des Term-Dokument-Kontextbaumes visualisiert. Analog wird ein Termknoten des Term-Dokument-Kontextbaumes innerhalb der Term-Dokument-Kontextkegelbaumvisualisierung durch ein Termplättchen visualisiert und dieses ist (mit Ausnahme des Wurzeltermplättchens des gesamten Term-Dokument-Kontextkegelbaumes)

mit seinem Wurzeldokumentplättchen durch einen weiteren Kegeltyp, einen sogenannten *Termexplorationskegel* verbunden, der eine Termexplorationskante des Term-Dokument-Kontextbaumes visualisiert. Die Term und Dokumentkegel der Term-Dokument-Kontextkegelbaumvisualisierung visualisieren dabei die Nachfolger-Plättchen eines Kegels in Form von sogenannten *Dokumentringen* und *Termringen*, die an der Basis der korrespondierenden Dokument- und Termkegel angeordnet werden.

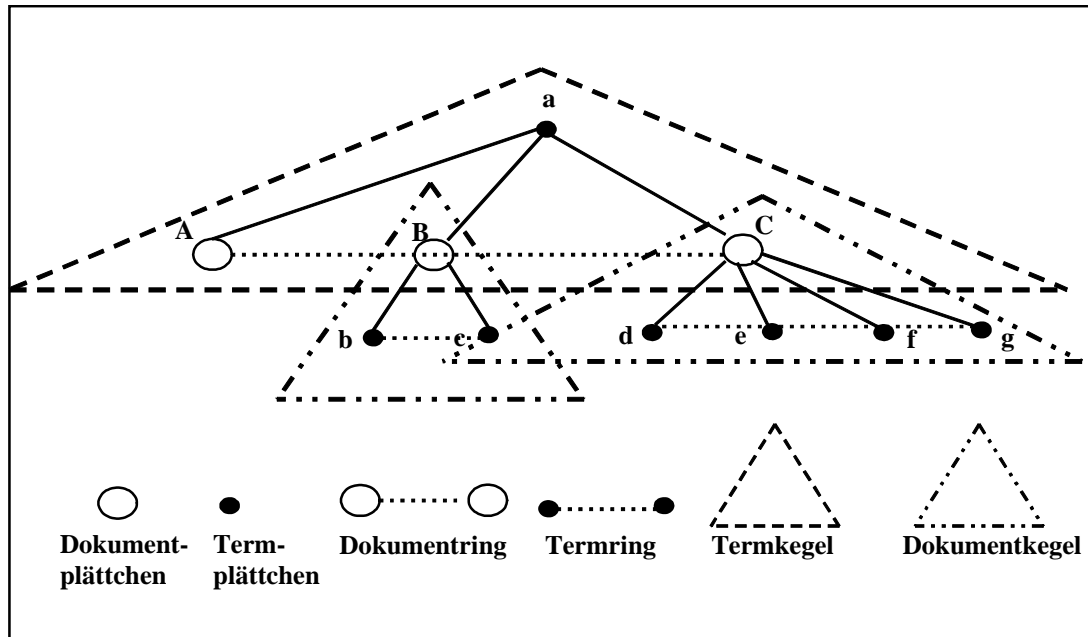


Abbildung 18: Informationsvisualisierungsobjekte des Kontextkegelbaumes

Die oben beschriebenen und in Abbildung 18 für den in Abbildung 17 dargestellten Beispielsfall dargestellten Visualisierungsobjekte beschreiben das erste Informationsvisualisierungsmodell von LyberWorld, die Term-Dokument-Kontextkegelbaumvisualisierung. Wir fassen im folgenden das vollständige Informationsvisualisierungsmodell des Term-Dokument-Kontextkegelbaumes noch einmal zusammen.

Ein Informationsvisualisierungsobjekt, welches die Visualisierung eines Dokumentknotens in einem Kontextbaum beschreibt, bezeichnen wir als Dokumentplättchen. Ein Informationsvisualisierungsobjekt, welches die Visualisierung eines Termknotens in einem Kontextbaum beschreibt, bezeichnen wir als Termplättchen. Ein Visualisierungsobjekt, welches die Informationsvisualisierung der Kinderknoten eines Termwurzelknotens in einem Kontextbaum beschreibt, bezeichnen wir als Dokumentring. Ein Informationsvisualisierungsobjekt, welches die Visualisierung der Kinderknoten eines

Dokumentwurzelnknoten in einem Kontextbaum beschreibt, bezeichnen wir als Termring. Ein Informationsvisualisierungsobjekt, welches die Visualisierung der Kanten zwischen einem Dokumentwurzelnknoten und seinen Termkinderknoten in einem Kontextbaum beschreibt, bezeichnen wir als Termexplorationskegel. Ein Visualisierungsobjekt, welches die Visualisierung der Kanten zwischen einem Termwurzelnknoten und seinen Dokumentkinderknoten in einem Kontextbaum beschreibt, bezeichnen wir als Dokumentexplorationskegel.

Mit einem Term-Dokument-Kontextkegelbaum-Informationsvisualisierungsmodell auf Basis des Kontextbaum-Dialogmodelles und des Kegelbaum-Visualisierungsmodelles läßt sich somit eine räumliche Visualisierung der Elemente der Kontextmenge *und* der strukturellen Verknüpfung der Explorationen des Informationsdialoges mit den Elementen der Kontextmenge erreichen, welche die Eigenschaften der Explorationsstruktur des Informationsdialoges auch in der Visualisierungsstruktur des Kontextkegelbaumes als gewähltem Informationsvisualisierungsmodell weitestgehend bewahrt.

(5) Entwurf der Informationsvisualisierungsfunktion

Die Inhalte der Informationsobjekte (Terme/Dokumente) des Kontextbaumes innerhalb einer Volltext-Information-Retrieval-Anwendung müssen durch Plättchen mit einer dem Inhalt des Informationsobjektes entsprechenden textuellen Annotation dargestellt werden.

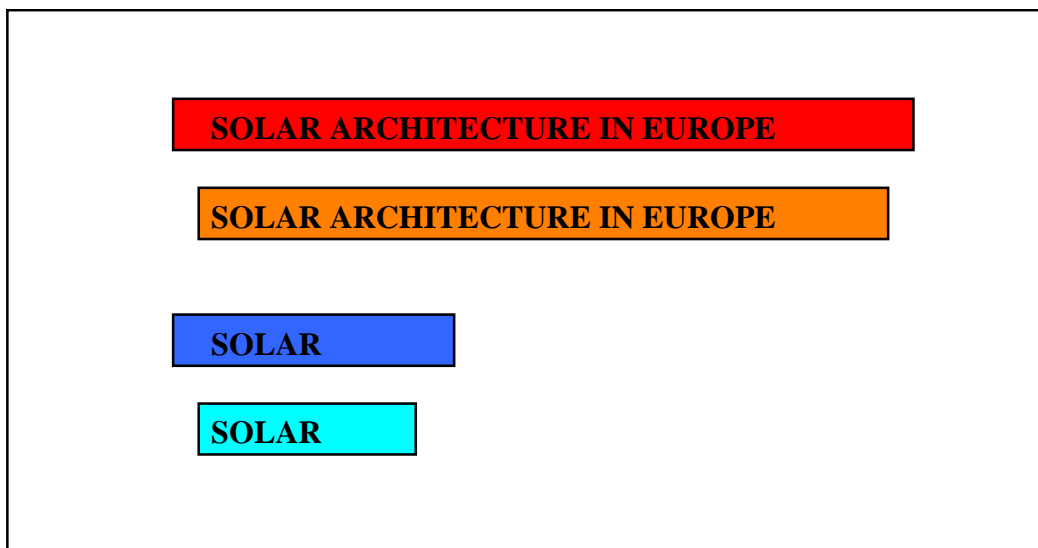


Abbildung 19: Farb- und Größenkodierung von Knotenvisualisierungen

Handelt es sich bei dem Visualisierungsgegenstand z.B. um einen Term, besteht die Visualisierung aus der textuellen Beschreibung des Termes aufgebracht auf einem durch

Farb- und Längenkodierung visuell typisierten Termplättchen. Handelt es sich um ein Dokument, wird der Titel des Dokumentes für die textuelle Namensannotation auf einem durch Farbkodierung visuell typisierten Dokumentplättchen herangezogen. Beispiele für Darstellungen dieser Informationsvisualisierungsobjekte sind in Abbildung 19 aufgeführt. Den verschiedenen Informationsobjekttypen des Kontextbaumes werden also visuelle Darstellungssymbole mit unterschiedlichen Geometrie-, Farb- und Größenkodierungen als Visualisierungsobjekte zugeordnet, die Aufschluß über Typ und Eigenschaften des visualisierten Informationsobjektes geben. Dabei werden im vorliegenden Anwendungsfall rote, lange Rechtecke als Dokumentvisualisierungssymbole verwendet und blaue, kurze für Terme. Weiterhin werden Term- und Dokumentplättchen durch geringfügig unterschiedliche Rechtecke dargestellt (minimale Veränderung von Farbintensität und Länge, heller und kürzer), je nachdem, ob sie an der betreffenden Position in der Kontextmenge zum ersten mal oder bereits wiederholt auftreten. Dies stellt eine Form der Attributvisualisierung von Informationsobjekten dar. Durch diese Attributvisualisierung wird innerhalb der Kontextkegelbaumvisualisierung eine Übersicht über die Elemente der Kontextmenge und die Explorationsstruktur des Informationsdialoges ermöglicht. Das strukturelle Abbildungs- und Visualisierungsschema des Term-Dokument-Kontextkegelbaumes für die korrespondierenden Informationsvisualisierungsfunktion ist damit durch die Verknüpfungsregeln für Knoten und Kanten im Term-Dokument-Kontextbaum-Dialogmodell bzw. für deren korrespondierende Plättchen und Kegel im Kegelbaumvisualisierungsmodell festgelegt. An der Wurzel des Gesamtbaums befindet sich ein initialer Termknoten. Daran schließt sich der erste Dokument- oder Termkegel an. Anhand der topologischen Position eines Knotens in einem Kontextbaum läßt sich jederzeit ableiten, welcher andere Knoten innerhalb des Baumes für die Aufnahme des Knotens verantwortlich ist. Anhand der Geschwisterbeziehungen von Termknoten innerhalb eines Kontextbaumes läßt sich darüber hinaus der Inhalt eines Dokumentes deskriptiv erfassen, anhand der Geschwisterbeziehungen von Dokumentknoten eines Kontextbaumes läßt sich eine inhaltliche Verwandtschaft von Dokumenten bezüglich der Verwendung eines gemeinsamen Termes darstellen.

Da die Darstellung der Term- und Dokumentplättchen aus ergonomischen Gründen hinsichtlich der Lesbarkeit von Texten von links nach rechts ausgerichtet werden müssen, wird auch die gesamte Term-Dokument-Kontextkegelbaumvisualisierung mit allen zugehörigen Ring- und Kegelvisualisierungen von der Informationsvisualisierungsfunktion

horizontal von links nach rechts ausgerichtet angeordnet und positioniert. An der Wurzel des Gesamtbaums befindet sich ein initiales Termplättchen. Daran schließt sich der erste Dokumentkegel an. Der weitere Aufbau des Kontextbaums ergibt sich, wie oben beschrieben, aus dem Auftreten von Navigationen und Explorationen innerhalb der Historie des Informationsdialoges.

Die Terme und Dokumente aller Ergebnismengen des Kontextbaumes werden mit Hilfe des Kegelbaumvisualisierungsmodelles karteikartenartig als Plättchen mit textueller Beschriftung in einer nach ihrem Relevanzwert geordneten Reihenfolge innerhalb einer vertikalen orthogonal zur X-Y-Bildebene verlaufenden Y-Z-Ebene auf einem zylindrischen Ring angeordnet und mit gleichmäßigen Winkelabstand verteilt positioniert. Im folgenden beschreiben wir die für die Informationsvisualisierungsfunktion des Kontextkegelbaumes notwendigen Berechnungen der Geometrieparameter der Informationsvisualisierungsobjekte.

Nehmen wir an ein rechteckiges Plättchen P habe die standardisierten Abmessungen $h_p \times w_p$. Nehmen wir weiterhin an, eine zu visualisierende Ergebnismenge habe n Elemente. Nehmen wir außerdem noch an, die Plättchen dieser Ergebnismenge sollten mindestens in einem räumlichen Abstand d voneinander entfernt auf einem Ring R positioniert werden.

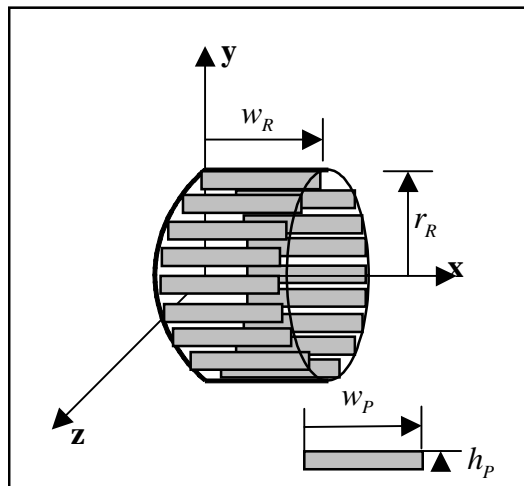


Abbildung 20: Parametrisierung und Orientierung von Ringen und Plättchen

Dies ist erfüllt, falls für den Radius r_R und die Breite w_R des zur Visualisierung der Ergebnismenge notwendigen Ringzylinders R gilt: $r_R = \frac{n \times d + n \times h_p}{2\pi}$ und $w_R = w_p$.

Nehmen wir nun weiter an, das Zentrum des zur Visualisierung der Ergebnismenge

notwendigen Ringes R liegt im Ursprung eines dreidimensionalen Raumes eines kartesischen Koordinatensystems. Dann werden die rechteckigen Plättchen zur Visualisierung der Informationsobjekte parallel zur X-Achse ausgerichtet (siehe Abbildung 20) und in einem gleichmäßig verteilten Winkelabstand angeordnet. Dies ist erfüllt, sofern für die Position pos_{P_i} des i -ten Plättchens P_i des Ringes R mit dem Radius r_R gilt:

$$pos_{P_i} = r_R \cdot (\sin(\frac{2\pi}{n} \cdot i), \cos(\frac{2\pi}{n} \cdot i)) \text{ für } i=1, \dots, n.$$

Die hierarchische Verwandtschaftsbeziehung zwischen einem Wurzelknoten und seinen Kindern wird durch einen horizontalen Kegel mit Ausrichtung parallel zur X-Achse visualisiert. An der Spitze des Kegels steht das Plättchen des Wurzelknotens, an der Grundfläche sind die Plättchen der Blattknoten in einem Ring angeordnet. Der Radius r_C eines Kegels C welcher die Verknüpfung zwischen einem Ring R und seinem Wurzelplättchen visualisiert ergibt sich in diesem Fall zu $r_C = r_R$. Die Kegelbreite w_C kann beliebig gewählt werden.

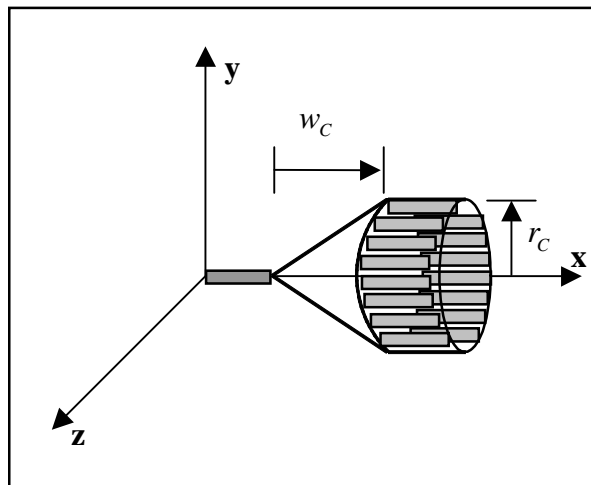


Abbildung 21: Positionierung und Orientierung eines Explorationskegels

Jeder Blattknoten kann seinerseits wieder der Wurzelknoten eines untergeordneten Kegels sein. Auf diese Art und Weise werden Term- und Dokumentkegelvisualisierungen immer abwechselnd entsprechend des Verlaufes des Informationsdialoges durch Exploration des jeweiligen Fokus miteinander verknüpft. In Abbildung 22 ist die Orientierung und der Aufbau eines Kontextkegelbaums, der aus Term und Dokumentkegelvisualisierungen besteht, beispielhaft skizziert.

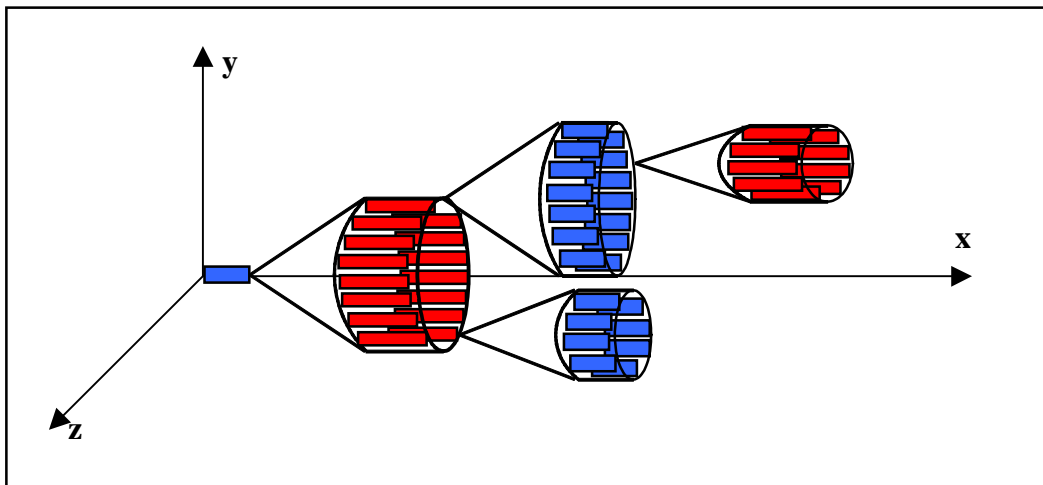


Abbildung 22: Aufbau und Orientierung eines Kontextkegelbaumes

Innerhalb des Baumes kann, ohne dessen topologische Struktur zu verändern, mit Hilfe von Eingabegeräten wie der Maus per Mausklick oder den Cursor-Tasten durch Navigation-Auf, Navigation-Ab, Navigation-Links, Navigation-Rechts zu neuen Fokus-Objekten navigiert werden. Darüber hinaus ist es möglich, Knoten, Ringe oder auch vollständige Unterbäume wieder zu entfernen. Im vorgestellten Beispiel einer Volltextretrievalanwendung ist der Kontextbaum bezüglich der abgebildeten Informationsobjekttypen nur zweidimensional, da er lediglich Dokument- und Begriffsknoten beinhaltet. Grundsätzlich sind jedoch auch eine größere Anzahl von Informationsobjekttypen und Anfrageverknüpfungstypen des Informationsdialoges konsistent in den Plättchen- und Kegeltypen der Kegelbaumvisualisierungen z.B. durch Farbkodierung ausdrückbar (siehe z.B. [Schweikert & Hemmje 96]).

Zu jedem Zeitpunkt ist ein Kegel des Baumes der *aktuelle Kegel*. Es handelt sich um den Kegel, auf dem sich das Informationsobjekt im Benutzerfokus gerade befindet. Innerhalb dieses Kegels existiert immer ein *aktuelles Plättchen*, entsprechend dem gerade besuchten Kegeltyp entweder ein Dokument- oder ein Termplättchen. Dieses befinden sich innerhalb der visuellen Darstellung immer an der dem Benutzer und damit der Bildschirm- bzw. Betrachtungsebene zugewandten Frontseite der Baumebene und damit im Fokus der visuellen Wahrnehmung des Benutzers. Der aktuelle Kegel und das aktuelle Plättchen werden einer geeignete Farbkodierung im Sinne eines sogenannten „Highlighting“ herausgehoben dargestellt. Möchten Benutzer zu einem anderen Plättchen innerhalb des Kontextkegelbaums navigieren, so können sie alle Kegel und Teilbäume des Kontextkegelbaumes so lange direktmanipulativ rotieren, bis entweder das gewünschte

Informationsvisualisierungssymbol als aktuelles Plättchen im visuellen Fokus steht und dort als Zielobjekt der Navigation selektiert werden kann oder die Benutzer selektieren das Zielplättchen der Navigation direktmanipulativ und die Informationsvisualisierung rotiert die notwendigen Kegel und Teilbäume entsprechend bis das Navigationsziel im visuellen Fokus des Betrachters liegt. Ausgehend vom aktuellen Plättchen können Benutzer interaktiv weitere neue Unterbäume dieses Plättchens durch das interaktive Auslösen einer Exploration erzeugen. Durch das Explorieren von neuen Ebenen innerhalb des Kontextbaumes, definieren die Benutzer auf transparente Art und Weise Anfragen an den Information-Retrieval-Mechanismus und führen damit gleichzeitig Navigationen und Explorationen entlang eines inhaltsorientierten Suchpfades durch. Wesentliche Voraussetzung für die kognitive Effektivität einer visuellen Darstellung ist die automatisch ausgelöste Animation im Falle einer Interaktion, die eine Navigation oder einer Exploration mit Veränderung des Fokusobjektes zur Folge hat. Die auf dem Konzept des sogenannten "Cognitive Coprocessor" [Card et al. 91] basierende Auslösung einer animierten Rotation ermöglicht es dem Benutzer, die kontinuierliche Transformation (d.h. die Translationen und Rotationen) des Kontextkegelbaumes und seiner Unterbäume zu verfolgen und damit die Orientierung über die Topologie des gesamten Kontextbaumes und speziell des im Fokus befindlichen Plättchens innerhalb des entsprechenden Kegels und dessen Teilbaum zu behalten. So lassen sich eine übersichtliche Darstellung der gesamten Kontextmenge entlang der Dialogstruktur und eine gute Orientierung hinsichtlich der Position des aktuellen Fokus in der Gesamtkontextmenge erreichen.

(6) Interaktive Regelung der Darstellungsdichte

Die Visualisierungsobjekte Kegel und Ring einer Kegelbaumvisualisierung sind bereits eingeführt. Weitere Eigenschaften von Visualisierungsgegenständen, wie z.B. der Typ der Informationsobjekte Dokument oder Term können ebenfalls wie bereits in Abbildung 19 dargestellt, durch graphische Attribute der zugehörigen Visualisierungssymbole kodiert werden. Unter anderem finden hierbei Form- und Farbkodierungen innerhalb der Knotenvisualisierungen Verwendung. Bei der Visualisierung der Knoten eines Kegelbaumes unterliegt die Position, Größe und Form der visuellen Symbole Einschränkungen durch die geometrischen Eigenschaften des Layouts des gesamten Kegelbaums und die Voraussetzung der Beschriftbarkeit der Symbole. Die daraus resultierende Visualisierung eines Kegelbaumes kann jedoch auch bei Verwendung eines

dreidimensionalen Visualisierungsmodells immer noch sehr schnell unübersichtlich werden. Dies gilt besonders, wenn ein Ring eine sehr große Anzahl von Knoten visualisiert. Eine mögliche Strategie dem zu begegnen ist es, eine maximale Anzahl von auf einem Ring sichtbaren Knoten festzulegen. Liefert eine Exploration eine zu große Zahl darzustellender Informationsobjekte, so werden nur die relevantesten als Knoten in den Ring aufgenommen. Diese Strategie widerspricht jedoch der Zielsetzung der Vollständigkeit und Konsistenz der Darstellung und damit der Transparenz und Kontrollierbarkeit der Informationsvisualisierung des Informationsdialogs, da geometrische Randbedingungen des Layoutalgorithmus die Visualisierung der Kontextmenge verfälschen.

Die spiralförmige Positionierung der Knoten auf der Kegelgrundfläche wie sie in Abbildung 23 dargestellt ist, erlaubt eine Erweiterung der Kegelbaumvisualisierungsmetapher, durch welche diese Problematik verringert wird. In sehr großen Ringen wird die Positionierung der Knoten über die Verteilung auf dem Kreisumfang hinaus spiralförmig zum Zentrum des Kegels weiter fortgesetzt. Den Benutzern wird darüber hinaus die Möglichkeit gegeben, den Umfang eines Kegels interaktiv zu variieren und damit die sogenannte *visuelle Dichte* der Darstellung visuell-direktmanipulativ zu regeln.

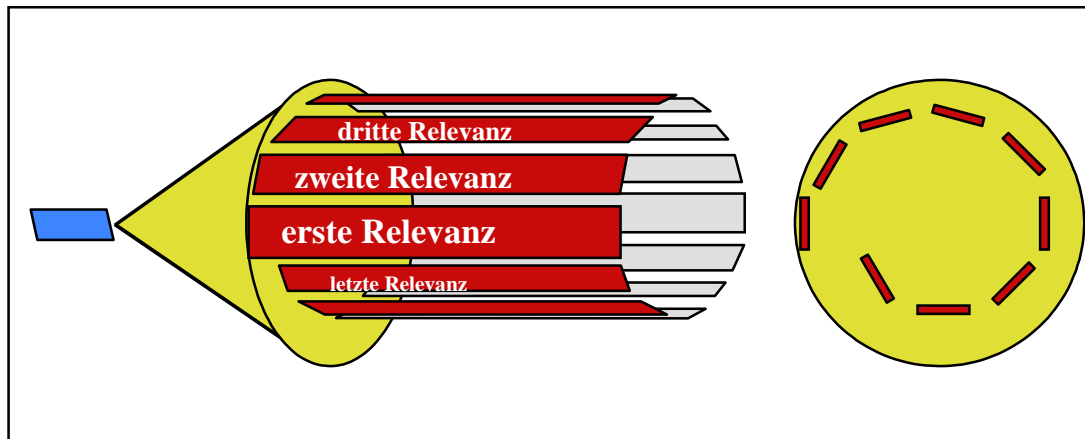


Abbildung 23 Skizze eines spiralisierten Begriffskegels

Benutzer können so die im Fokus dargestellten Informationsobjekte auf die aus ihrer Sicht adäquate Menge an relevanter und damit sichtbarer Information beschränken, werden aber visuell durch die nur teilweise verdeckt visualisierten Knotensymbole an das Vorhandensein und den quantitativen Umfang der Restergebnismenge erinnert. Das Verfahren für die Generierung der jeweiligen konkreten Ausprägung des

Erscheinungsbildes des Kontextbaums ist durch die Visualisierungsvorschrift des Layouts für Knoten und Kegel bzw. für Knotenpositionierungen auf den Spiralen (siehe [Hemmje et al. 94a]) gegeben. Die Berechnung der dafür notwendigen Layoutparameter wird im folgenden Abschnitt näher beschrieben.

(7) Berechnung der Spiralisierungsparameter

Für die Berechnung des Spirallayouts innerhalb der Informationsvisualisierungsfunktion bietet sich die Realisierung in Form einer Archimedischen Spirale, auf der alle benachbarten Schnittpunkte der Spirale mit einer Geraden aus dem Mittelpunkt heraus den gleichen Abstand d voneinander haben, an. Die Länge des Spiralbogens s vom Spiralanfangspunkt A bis zum Spiralmittelpunkt M (siehe Abbildung 24) berechnet sich durch

$$s = \frac{a(\lambda\sqrt{\lambda^2 + 1} + \operatorname{arcsinh} \lambda)}{2} \quad \text{mit} \quad a = \frac{v}{\omega}.$$

Der Winkel λ gibt an, wieviele Umdrehungen der Spiralstartpunkt A vom Spiralmittelpunkt M entfernt ist. Der Spiralisierungsparameter a gibt das Verhältnis der Radiusverringerng v pro Winkelgeschwindigkeit ω der Archimedischen Spirale an. Der

Spiralisierungsparameter $a = \frac{0,3}{2\pi}$ definiert beispielsweise eine Spirale, die sich nach einer

Umkreisung des Zentrum ihrem Mittelpunkt um $1/3$ nähert. Folglich kann der Abstand d zwischen den Spiralwindungen einer Archimedischen Spirale als $d = 2\pi \cdot a$ angegeben werden. Die Formel für die Längenberechnung der Archimedischen Spirale kann für große

λ zur Näherungsformel $s = \frac{a\lambda^2}{2}$ vereinfacht werden. Bei der Positionierung von Plättchen

auf einer Spirale genügt diese näherungsweise Berechnung der Spirallänge. Die exemplarische Spirale in Abbildung 24 erreicht nach etwa 2,5 Umdrehungen den Punkt E , der durch die Position des letzten Plättchens auf der *Plättchenkurve* entlang der Spiralwindungen definiert ist.

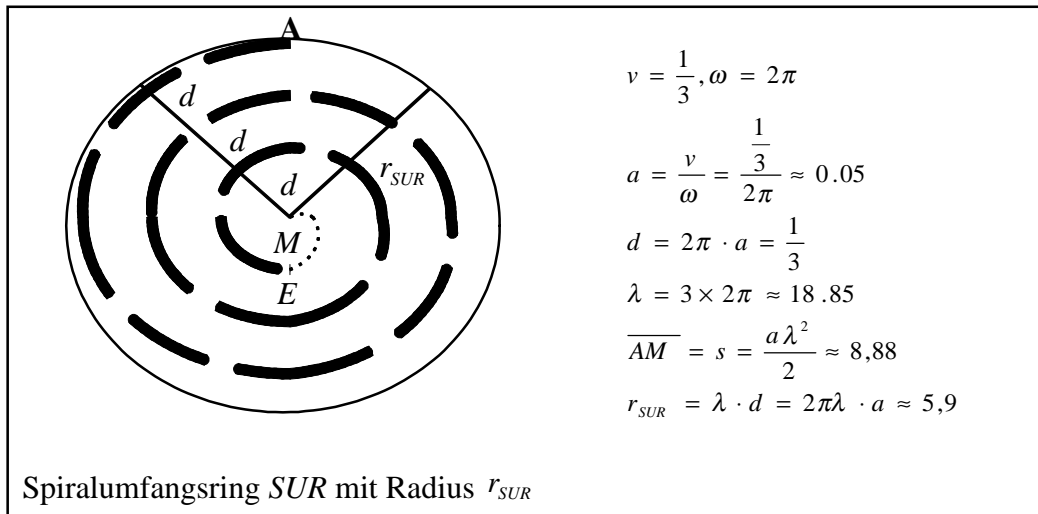


Abbildung 24: Berechnungsbeispiel der Spiralisierungsparameter

Für die Positionierung der Plättchen liegt in der vorgesehenen Informationsvisualisierungsfunktion zunächst ein konstanter Spiralisierungsquotient a und damit ein konstanter Spiralwindungsabstand d sowie ein benutzerdefinierter *Spiralumfangsringradius* r_{SUR} zugrunde. Die anderen Visualisierungsparameter der Spiralvisualisierung müssen so berechnet werden, daß der Raumbedarf der Plättchen, d.h. die Länge der *Plättchenkurve*, und die für die Visualisierung verfügbare *Spirallänge* übereinstimmen. Wenn das innerste Plättchen der Plättchenkurve und damit der Punkt E auf der Plättchenkurve den Mittelpunkt M der Spirale erreicht, liegt für den Spiralumfangsringradius r_{SUR} der ausgezeichnete Zustand $r_{SUR} = r_{E=M}$ vor und wir bezeichnen die Spirale als von der Plättchenkurve *vollständig gefüllte Spirale*. Bei einer weiteren Spiralumfangsringradiusverringerung wird danach der Spiralwindungsabstand d , der bis zum Erreichen einer vollständig gefüllten Spirale ($E=M$) konstant gehalten wurde, verringert. Es ist aber darüber hinaus auch vorstellbar, daß der Spiralisierungsringradius r_{SUR} und der Spiralwindungsabstand d so gewählt werden, daß die Kurve der zu visualisierenden Plättchen die korrespondierende Archimedischen Spirale nicht vollständig ausfüllt. Dementsprechend können die vier in Abbildung 25 dargestellten Kategorien von Kurvenzuständen, in denen alle Kurven gleich lang sind, innerhalb der Informationsvisualisierung auftreten. Die in Abbildung 25 dargestellte *maximale Spirale* A befindet sich im ausgezeichneten Zustand $r_{SUR} = r_{\max}$, in dem der Innenbereich der Spirale völlig frei von Plättchen ist. Bei abnehmendem Spiralumfangsringradius r_{SUR} wandern zunehmend Plättchen in den Innenbereich (im folgenden beschrieben durch den

Innenwinkel λ_i der Spirale). Für die Spirale *B* ist der Spiralumfangsringradius $r_{SUR} < r_{\max}$ also gegenüber der Spirale *A* etwas verringert. In ihrem Innenbereich liegen bereits verdeckte Plättchen. Bei der vollständig gefüllten Spirale *C* hat die Plättchenkurve im Innenbereich der Spirale den Mittelpunkt *M* erreicht. Der Spiralumfangsringradius entspricht $r_{SUR} = r_{E=M}$. Bis zu diesem Zustand hat der Zwischenraum *d* zwischen den Spiralwindungen einen konstanten Wert. Um eine weitere Verringerung des Spiralumfangsringradius r_{SUR} mit $r_{SUR} < r_{E=M}$ erzielen zu können, muß nun der Zwischenraum zwischen den Spiralwindungen verkleinert werden. In der *minimalen Spirale D*, mit dem minimalen Spiralwindungsabstand $d_{\min} = \frac{1}{2}h_p + d_p$ bei einer Plättchenhöhe h_p , einem Plättchenmindestabstand d_p und der Anforderung, daß die Plättchen noch Kollisionsfrei um 3 Grad um ihren Berührungspunkt mit der Spiralwindung rotierbar sein sollen, ist der minimal mögliche Spiralumfangsringradius r_{SUR} mit $r_{SUR} = r_{\min}$ erreicht.

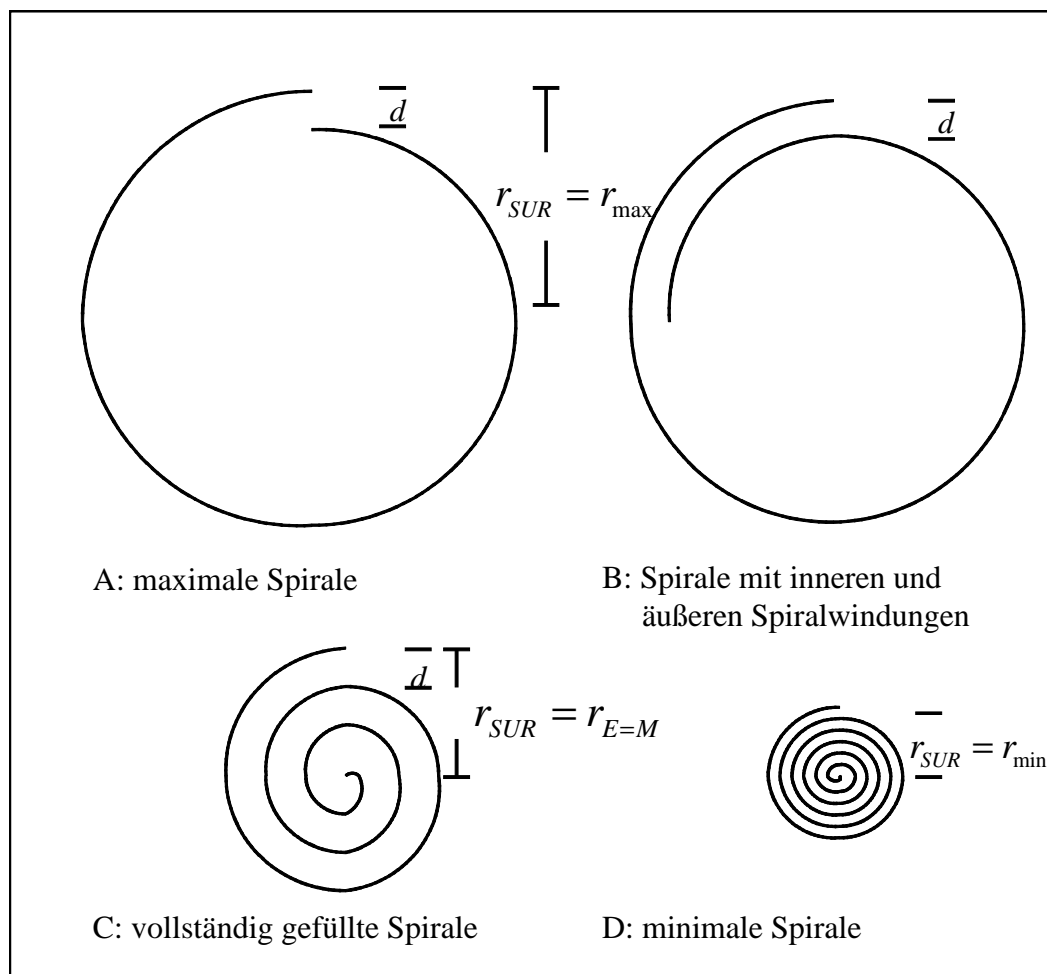


Abbildung 25: Spiralen mit unterschiedlicher visueller Dicht

Wir fassen zusammen: Benutzer können die Dichte der Spirale interaktiv verändern, indem sie den Radius r_{SUR} des Spiralumfangsrings regeln. Die Informationsvisualisierungsfunktion für die Spiralisierung muß die Positionierung der Plättchen folglich an den gewählten Spiralumfangsringradius anpassen. Der zulässige Wertebereich des Spiralumfangsringradius r_{SUR} reicht (wie in Abbildung 25 dargestellt) sinnvollerweise von

$r_{SUR} = r_{\max}$: der Spiralumfangsring ist maximal, kein Blättchen liegt im Innenbereich der Spirale, die Länge der Spirale entspricht dem durch $p = (n-1) \times d_p + n \times h_p$ gegebenen Raumbedarf p von n Plättchen mit einer Plättchenhöhe h_p und einem Plättchenmindestabstand d_p , der frei wählbare aber bezüglich der Veränderung von r_{SUR} konstante Abstand d der Spiralwindungen untereinander ist größer als der minimale Spiralwindungsabstand $d_{\min} = \frac{1}{2} h_p + d_p$ über

$r_{SUR} = r_{E=M}$: das Ende der Spirale erreicht ihren Mittelpunkt, d.h. die Punkte E und M haben die gleiche Position, der konstante Abstand d der Spiralwindungen untereinander ist größer als der minimale Spiralwindungsabstand $d_{\min} = \frac{1}{2} h_p + d_p$, eine weitere Verringerung von r_{SUR} kann nur durch eine Verringerung von d erreicht werden

bis hin zu

$r_{SUR} = r_{\min}$: der Spiralumfangsring ist minimal, das Ende der Spirale erreicht ihren Mittelpunkt, d.h. die Punkte E und M haben die gleiche Position, der konstante Abstand d der Spiralwindungen untereinander entspricht dem minimalen Spiralwindungsabstand $d_{\min} = \frac{1}{2} h_p + d_p$, eine weitere Verringerung von r_{SUR} kann nicht ohne Kollision von Plättchengeometrien erreicht werden.

Damit existieren für mögliche Werte des Spiralumfangsringradius r_{SUR} also die drei ausgezeichneten Zustände $r_{SUR} = r_{\max}$, $r_{SUR} = r_{E=M}$ und $r_{SUR} = r_{\min}$ sowie die zwei Zwischenzustände $r_{\max} > r_{sur} > r_{E=M}$ und $r_{E=M} > r_{sur} > r_{\min}$.

Entsprechend des oben beschriebenen Entwurfes der Informationsvisualisierungsfunktion wird im folgenden zuerst die Berechnung der Bandbreite der möglichen Spiralisierungsdichten, d.h. des Wertebereiches des korrespondierenden Spiralumfangsringradius r_{SUR} einer Spirale mit einem Spiralwindungsabstand d mit $d \geq d_{\min} = \frac{1}{2}h_p + d_p$ und dann die Berechnung der resultierenden Positionen pos_{P_i} der $i=1, \dots, n$ Plättchen P_i einer Plättchenkurve auf den Windungen der korrespondierenden Archimedischen Spirale beschrieben.

Für den Zustand $r_{SUR} = r_{\max}$ muß die maximale Gesamtspirale so bemessen werden, daß der außen frei und damit sichtbar liegende Teil der Spiralwindungskurve die Länge p der Plättchenkurve mit $p = (n-1) \times d_p + n \times h_p$ hat, damit der Innenbereich aller innerhalb des Innenwinkels λ_{\max_I} liegenden Spiralwindungen frei von Plättchen bleiben kann. Der Gesamtumdrehungswinkel λ_{\max} der maximalen Spirale vom Startpunkt A bis zum Mittelpunkt M ist damit um 2π größer als der Innenwinkel λ_{\max_I} der Spirale. Für den Zustand $r_{SUR} = r_{\max}$ entspricht die Differenz aus der Länge der maximalen Gesamtspirale s_{\max} und der Länge der freien Innenspirale s_{\max_I} der Länge p der Plättchenkurve mit $p = (n-1) \times d_p + n \times h_p$. Es gilt also $p = s_{\max} - s_{\max_I}$ und daraus folgt

$$p = \frac{a(\lambda_{\max_I} + 2\pi)^2}{2} - \frac{a\lambda_{\max_I}^2}{2}.$$

Das Auflösen nach λ_{\max_I} führt zum Winkel der

Innenspirale für den gilt $\lambda_{\max_I} = \frac{p}{2\pi a} - \pi = \frac{p}{d} - \pi$. Eine Addition von 2π ergibt den Gesamtwinkel $\lambda_{\max} = \lambda_{\max_I} + 2\pi = \frac{p}{d} + \pi$ der maximalen Spirale. Da für den Spiralumfangsringradius $r_{SUR} = \frac{d\lambda}{2\pi}$ gilt, ergibt die Multiplikation von λ_{\max} mit dem Spiralwindungsabstand d und die Division durch 2π den maximalen Spiralumfangsringradius r_{\max} mit $r_{\max}(p, d) = \frac{d}{2\pi} \lambda_{\max} = \frac{p}{2\pi} + \frac{d}{2}$ bei gegebener Länge p der Plättchenkurve sowie gegebenem Spiralwindungsabstand d .

Der zweite wichtige Eckwert für den Wertebereich des Spiralumfangsringradius r_{SUR} ist der Zustand $r_{SUR} = r_{E=M}$ der vollständig gefüllten Spirale mit Spiralwindungsabstand d . Für

diesen Fall gilt $p = \frac{a\lambda_{E=M}^2}{2} = \frac{d\lambda_{E=M}^2}{4\pi}$, da $a = \frac{d}{2\pi}$. Durch das Auflösen der Gleichung nach

$\lambda_{E=M}$, dem Gesamtdrehwinkel der vollständig gefüllten Spirale, folgt $\lambda_{E=M} = 2\sqrt{\frac{p\pi}{d}}$. Eine

Multiplikation mit d und die Division durch 2π führt zu $r_{E=M}(p, d) = \frac{d}{2\pi} \lambda_{E=M} = \sqrt{\frac{dp}{\pi}}$ bei

gegebener Länge p der Plättchenkurve sowie gegebenem Spiralwindungsabstand d .

Abschließend berechnen wir noch den minimalen Spiralumfangsringradius für den Fall, daß d bis auf $d = d_{\min} = \frac{1}{2}h_p + d_p$ verringert wird. Dann gilt wie oben beschrieben

$r_{E=M} = r_{\min}$ und damit folgt unmittelbar $r_{\min}(h_p, d_p, p) = \sqrt{\frac{p(\frac{1}{2}h_p + d_p)}{\pi}}$.

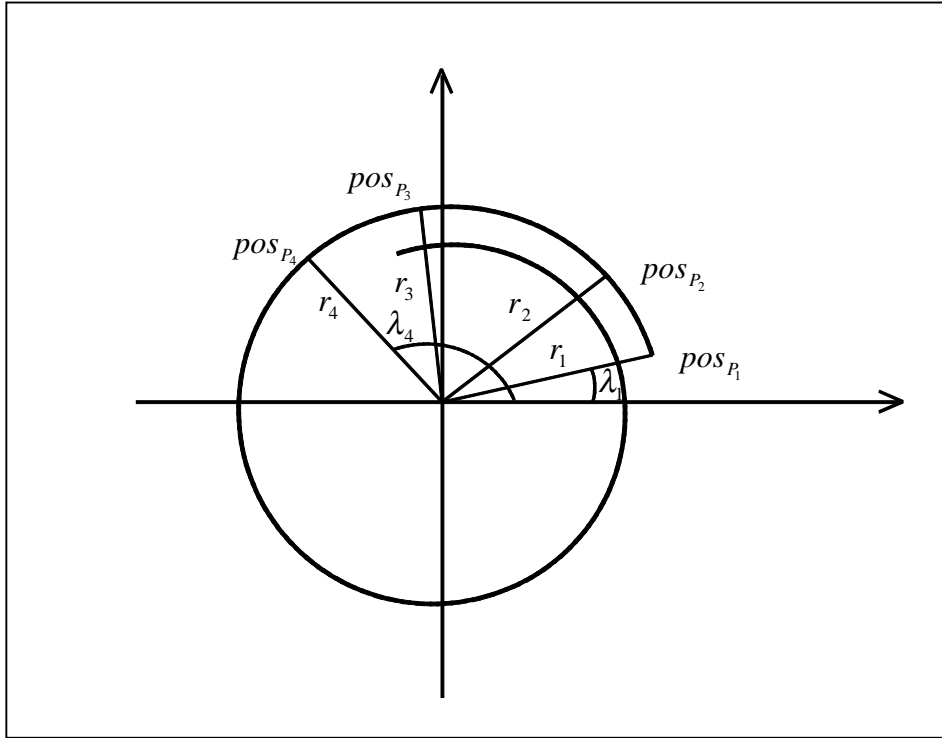


Abbildung 26: Spiralisierte Plättchenpositionen in Polarkoordinaten

Für eine im Intervall $[r_{E=M}, r_{\min}]$ liegende Benutzereingabe für den Spiralumfangsringradius r_{SUR} kann bei gegebener Länge p der Plättchenkurve der

resultierende Spiralwindungsabstand d aus $r_{SUR} = \frac{d}{2\pi} \lambda_{SUR} = \sqrt{\frac{dp}{\pi}}$ zu $d = \frac{r_{SUR}^2 \pi}{p}$ berechnet

werden. Damit können dann die gegebenen Parameter r_{SUR} , p und der eben berechnete

Parameter d wie folgt zur iterativen Berechnung der Kurvenpositionen pos_{P_i} der Plättchen P_i mit $i=1,...,n$ für die Visualisierung einer Ergebnismenge mit n Elementen verwendet werden. Die Positionsangaben pos_{P_i} für die Plättchen P_i mit $i=1,...,n$ werden im folgenden in den Polarkoordinaten $pos_{P_i} = (r_i, \lambda_i)$ durch ihre jeweilige Winkelposition λ_i und die Entfernung r_i vom Zentrum der Spirale (siehe Abbildung 26) beschrieben. Die Winkelposition λ_1 des ersten Plättchens kann beliebig, beispielsweise zu $pos_{P_1} = (r_{SUR}, 0)$, gewählt werden. Es gilt dann iterativ $pos_{P_i} = (r_i, \lambda_i)$ mit $r_1 = r_{SUR}$ und $pos_{P_i} = (r_{i-1} - \frac{r_{SUR}}{n-1}, \lambda_{i-1} + \frac{\lambda_{SUR}}{n-1})$ mit $\lambda_{SUR} = 2\sqrt{\frac{p\pi}{d}}$ für $1 < i \leq n$.

Eine im Intervall $[r_{\max}, r_{E=M}]$ liegende Benutzereingabe für den Spiralumfangsringradius r_{SUR} kann bei gegebener Länge p der Plättchenkurve und gegebenem Spiralwindungsabstand d wie folgt zur iterativen Berechnung der Kurvenpositionen pos_{P_i} der Plättchen P_i mit $i=1,...,n$ für die Visualisierung einer Ergebnismenge mit n Elementen verwendet werden. Für die Länge s der Gesamtspirale gilt wie oben $s = \frac{a\lambda^2}{2}$ und wegen

$a = \frac{d}{2\pi}$ folgt $s = \frac{d\lambda^2}{4\pi}$. Weiterhin gilt wie oben $r_{SUR} = \frac{d\lambda}{2\pi}$, womit sich durch das Auflösen

der Gleichung nach λ und durch das Einsetzen des entsprechenden Ergebnisses in die Gleichung für die Spirallänge $s = \frac{r_{SUR}^2\pi}{d}$ ergibt. Es gilt außerdem wie oben für den Winkel

λ der Gesamtspirale $\lambda = \frac{2r_{SUR}\pi}{d}$. Für die Länge s_I der plättchenfreien Innenspirale S_I

ergibt sich nun weiter $s_I = s - p = \frac{r_{SUR}^2\pi}{d} - p$. Wegen $s = \frac{d\lambda^2}{4\pi}$ gilt für den Winkel λ_I der

plättchenfreien Innenspirale S_I , daß λ_I durch

$$\lambda_I = 2\sqrt{\frac{s_I\pi}{d}} = 2\sqrt{\frac{\frac{r_{SUR}^2\pi}{d} - p\pi}{d}} = 2\sqrt{\frac{r_{SUR}^2\pi^2}{d^2} - \frac{p\pi}{d}}$$

zu berechnen ist. Da für den Winkel λ_A des Außenteils S_A der Gesamtspirale, auf dem die Plättchenkurve mit Länge p visualisiert

wird, $\lambda_A = \lambda - \lambda_I$ gilt folgt weiter $\lambda_A = \frac{r_{SUR}}{d} - 2\sqrt{\frac{r_{SUR}^2 \pi^2}{d^2} - \frac{p\pi}{d}}$. Für den Anteil r_A des Außenteils S_A der Gesamtspirale am gesamten Spiralumfangsringradius r_{SUR} folgt $r_A = \frac{d\lambda_A}{2\pi} = \frac{d}{2\pi} \left(\frac{r_{SUR}}{d} - 2\sqrt{\frac{r_{SUR}^2 \pi^2}{d^2} - \frac{p\pi}{d}} \right) = \frac{r_{SUR}}{2\pi} - \sqrt{\frac{r_{SUR}^2}{\pi^2} - \frac{dp}{\pi}}$. Es gilt dann abschließend iterativ für die Berechnung der Plättchenpositionen $pos_{p_i} = (r_i, \lambda_i)$ mit $r_1 = r_{SUR}$ und $pos_{p_i} = (r_{i-1} - \frac{r_A}{n-1}, \lambda_{i-1} + \frac{\lambda_A}{n-1})$ für $1 < i \leq n$.

5.2.2 Die Relevanzkugel

In den folgenden Abschnitten wird das zweite Visualisierungs- und Interaktionswerkzeug der visuell-direktmanipulativen Benutzungsschnittstelle des LyberWorld-Prototypen entworfen und im Detail vorgestellt. Wir gehen davon aus, daß die Benutzer mit Hilfe der bereits vorgestellten Term-Dokument-Kontextkegelbaum-Informationsvisualisierung innerhalb eines explorierenden und navigierenden Term-Dokument-Informationsdialoges eine Reihe von explorativen Anfragen an den automatischen Information-Retrieval-Mechanismus formuliert und entsprechend eine Reihe von Ergebnismengen, deren Vereinigungsmenge dann die Kontextmenge des explorierenden und navigierenden Term-Dokument-Informationsdialoges bildet, erzeugt haben.

Mit dem in den folgenden Abschnitten entworfenen *Relevanzbewertungsmatrix*-Modell und dem ebenfalls in den folgenden Abschnitten (von dem in Kapitel 3 bereits vorgestellten VIBE-Ansatz abgeleiteten) visuell-direktmanipulativen Visualisierungsmodell der *Referenzkugel* wird im weiteren Verlauf der Arbeit eine Informationsvisualisierungsfunktion für eine *Relevanzkugel*-Informationsvisualisierung entworfen, mit der das System über die Unterstützung der Exploration und Navigation der Kontextmenge hinaus eine visuell-direktmanipulative Unterstützung der Interessensgewichtungen von Dokumentexplorationen der Kontextmenge leistet, welche die Benutzer bei der *Bewertung* aller Dokumentergebnismengen innerhalb der Kontextmenge *hinsichtlich des Grades der Zugehörigkeit zu ihrer Interessensmenge* unterstützt. Dabei werden sowohl die Dokumentanfragen (im vorliegenden Anwendungsfall wie oben beschrieben durch Terme parametrisiert) als auch die resultierenden Informationsobjekte der Anfrageergebnisse (im vorliegenden

Anwendungsfall Textdokumente) sowie die Relevanzbeziehungen zwischen diesen Informationsobjekten und ihren Anfragen einerseits und die Interessensgewichtungen der Benutzer für diese Explorationen andererseits visualisiert. Hinsichtlich der weiteren Verarbeitung der Ergebnismenge werden die Benutzer bei einigen weiteren unmittelbaren visuell-direktmanipulativen Analyse-, Segmentierungs- und Partitionierungsaktivitäten auf den Dokumentexplorationsergebnissen der Kontextmenge unterstützt.

(1) Das Term-Dokument-Relevanzbewertungsmatrix-Modell im LyberWorld-Prototyp

In vektororientierten Information-Retrieval-Modellen läßt sich auf Basis der Menge der deskriptiven Terme und der zugehörigen Termgewichte eines Dokumentes eine vektorisierte Repräsentation für den Inhalt eines Dokumentes definieren. Die Inhaltsmenge der Datenquelle wird dabei, wie bereits in Kapitel 2 für das vektorbasierten Volltext-Information-Retrieval-Modell vorgestellt, z.B. durch den Vektorraum repräsentiert, der von allen deskriptiven Termen aller Dokumente der Inhaltsmenge aufgespannt wird. Ein ähnlich vektorisiertes Modell wird nun auch zur Repräsentation von Relevanzbeziehungen zwischen Anfragen und den Informationsobjekten der resultierenden Ergebnismengen sowie den Interessensgewichtungen der Explorationen durch die Benutzer innerhalb eines explorierenden, navigierenden und bewertenden Term-Dokument-Informationsdialoges definiert. Dabei soll die Relevanz zwischen Anfrage und den resultierenden Informationsobjekten der Ergebnismengen sowie die Interessensgewichtung von Ergebnismengen kumuliert und auf den geometrischen Abstand der jeweiligen Informationsvisualisierungsobjekte in der Darstellung abgebildet werden. Der kumulierte Relevanzwert von Ergebnisinformationsobjekten läßt sich dann anhand des Abstandes ihrer Informationsvisualisierungsobjekte von den Informationsvisualisierungsobjekten der Anfragen in der visuellen Darstellung visuell wahrnehmen. Aus diesem Grund definieren wir im folgenden eine *Term-Dokument-Relevanzbewertungsmatrix*.

Definition 17: Term-Dokument-Relevanzbewertungsmatrix

Eine $n \times m$ -Matrix $TDREMATRIX_h$ zu einem explorierenden, navigierenden und bewertenden Term-Dokument-Informationsdialog $h \in D_{s,u}$ zwischen einem Benutzer $u \in USER$ und einer Datenquelle $s \in SOURCE$ mit $h = (a_1, \dots, a_n)$ ist definiert

durch $e_{i,j} = \text{relevance}_s(\text{documentquery}(t_j), d_i) * e_j$ mit $i=1,..,k$ und $j=1,..,m$ wobei

$$t_j \in h \cap \text{DOCUMENTQUERY}_s, \quad k = |h \cap \text{DOCUMENTQUERY}_s|$$

$$d_i \in \text{CONTEXT}_{h,n} \cap \text{DOCUMENT}_s, \quad m = |\text{CONTEXT}_{h,n} \cap \text{DOCUMENT}_s|$$

und $\langle \text{documentquery}(t_j), e_j \rangle \in \text{EVALUATION}_{h,n}$.

Im folgenden Abschnitt beschreiben wir nun das für die Informationsvisualisierung der Term-Dokument-Relevanzbewertungsmatrix vorgesehene Visualisierungsmodell der *Referenzkugel*, auf deren Grundlage die Informationsvisualisierungsfunktion die Term-Dokument-Relevanzbewertungsmatrix in Form einer *Relevanzkugel*-Informationsvisualisierung abbilden und darstellen kann.

(2) Motivation, Auswahl, Analyse und Erweiterung des Referenzpunkt-Visualisierungsmodells

In herkömmlichen Informationssystemen auf der Grundlage von Volltext-Information-Retrieval-Maschinen wird den Benutzern die Ergebnismenge in der Regel in Form einer sequentiellen Liste von Dokumententiteln präsentiert. Insbesondere bei sehr großen Datenbanken tritt dabei schnell das Problem auf, daß nur noch ein kleiner Teil der Elemente der Ergebnismenge dargestellt werden kann. Um die gesamte Menge darstellen zu können, muß die Listenpräsentation oft auf mehrere Bildschirmseiten verteilt werden. Die Benutzer verlieren so schnell den Überblick über die Beziehungen zwischen den verschiedenen Ergebnismengen und ihren Elementen. Um die Größe der Ergebnismenge zu beschränken, treffen viele Information-Retrieval-Maschinen darüber hinaus eine automatische Vorauswahl von (allein nach Bewertung durch den entsprechenden Information-Retrieval-Algorithmus als besonders „relevant“) *berechneten* Ergebnissen, ohne daß dabei die individuelle Dialog- bzw. Informationssituation der Benutzer berücksichtigt werden kann. Die Entscheidung über den *technisch-informationellen*, also nicht den durch die *kognitiv-informationelle* Bewertung der Benutzer ermittelten, Relevanzwert für die Darstellung eines Ergebnisses trifft in diesen Fällen also nur das Informationssystem und nicht der Benutzer. Durch dieses Verfahren wird Benutzern unter Umständen Information vorenthalten, denn sie erfahren nichts über Informationsobjekte,

welche vom Information-Retrieval-Algorithmus möglicherweise als relevant für die Anfrage aber als ungenügend relevant für eine direkte Präsentation in der Kontextmenge beurteilt wurden. Eine Darstellung der ausgewählten Ergebnismenge als sequentielle Liste, wie man sie von herkömmlichen Information-Retrieval-Systemen gewohnt ist, vermittelt den Benutzern darüber hinaus in der Regel keinerlei zusätzliche Information über Eigenschaften der ausgewählten Ergebnisse. Die *Auswahl- und Bewertungskriterien* (z.B. Relevanz) des Information-Retrieval-Algorithmus hinsichtlich des zu präsentierenden Anteils der einzelnen Ergebnismengen und damit auch hinsichtlich des zu präsentierenden Anteils der gesamten Kontextmenge des Informationsdialoges sowie die Bewertungsergebnisse der einzelnen Ergebniselemente gegenüber der Anfrage selbst bleiben den Benutzern verborgen. So liefert z.B. oftmals nur die Reihenfolge, in welcher die Dokumente in der angezeigten Liste angeordnet sind, oder eine explizite Annotation der Elemente der Liste, einen Anhaltspunkt über den Relevanzwert bestimmter Dokumente gegenüber ihrer Explorationsanfrage.

Ziel einer besseren visuellen Präsentation muß es also sein, den Benutzer bei der Wahrnehmung, Auswahl und Bewertung von Dokumentgruppen und ihren Relevanzen gegenüber den einzelnen Explorationen aus der Kontextmenge zu unterstützen und ihnen damit selbst die Gewichtung der vollständigen Explorationsergebnisse hinsichtlich ihrer Interessensmenge überhaupt erst zu ermöglichen. Das Informationssystem sollte also weniger die völlig eigenständige *Gewinnung, Bewertung und Auswahl* bestimmter Dokumentengruppen, als vielmehr die *Darstellung* möglichst vieler relevanz-orientierter Eigenschaften einer möglichst vollständigen Kontextmenge leisten. Korfhage formuliert dies in der schon erwähnten Forderung: "The Viewpoint should shift from retrieval to display" [Korfhage 91].

Um den Benutzern mehr Information über die Relevanzeigenschaften der von ihnen erzeugten Ergebnismengen zu vermitteln, wird die Listendarstellung in dem im folgenden beschriebenen Informationsvisualisierungsansatz durch eine geeignete computergraphische Visualisierung ersetzt. Den Benutzern kann so Zusatzinformation zu den Elementen der Kontextmenge durch unterstützende Layoutalgorithmen und die entsprechende visuelle Kodierung entlang der Wertebereiche graphischer Attribute der Informationsvisualisierungsobjekte vermittelt werden. Grundsätzlich sind verschiedene Ansätze für Informationsvisualisierungsabbildungen zur Darstellung der Relevanz (oder anderer Kriterien) der Kontextmenge (oder anderer Informationsmengen) eines

Informationsdialoges denkbar. Um den von uns gewählten Ausgangspunkt des im folgenden hergeleiteten Entwurfes genauer zu erläutern, greifen wir auf den in Kapitel 3 bereits vorgestellten VIBE-Ansatz zurück und erweitern diesen nachfolgend durch Einführung einer Normierung der Relevanzwerte der Ergebnismengen und durch die Einführung einer weiteren Layoutdimension von einem zweidimensionalen nichtnormierten Polygonallayout auf ein dreidimensionales normiertes Kugellayout. Durch die Einführung der Normierung wird die Vergleichbarkeit der Relevanzwerte aller Informationsobjekte der verschiedenen Ergebnismengen untereinander und gegenüber ihren Anfragen innerhalb des Informationsdialoges und der korrespondierenden Kontextmenge erreicht. Durch die Erweiterung des Layoutalgorithmus um eine Raumdimension wird eine Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Ambiguitäten im Darstellungsergebnis erreicht. Diese Reduktion der Wahrscheinlichkeit von Ambiguitäten im Darstellungsergebnis wird im Anschluß an den Entwurf der Informationsvisualisierungsfunktion im Rahmen einer Evaluation der visuellen Effektivität der Relevanzkugel-Informationsvisualisierung in den abschließenden Abschnitten dieses Kapitels noch näher erläutert.

Das in den folgenden Abschnitten von den Referenzpunktvisualisierungsverfahren des VIBE-Ansatzes von [Korfhage 91] abgeleitet entworfene Relevanzkugel-Informationsvisualisierungsmodell zur Ergebnis- und Kontextmengenvisualisierung in Informationssystemen eignet sich gleichermaßen zur Visualisierung der Ergebnis- und Kontextmengen von Best-Match-, probabilistischen als auch von vektorbasierten Information-Retrieval-Systemen [Korfhage 91]. Es handelt sich bei dem in der vorliegenden Arbeit erweiterten Visualisierungsmodell um eine transparente, sogenannte *Referenzkugel*, die der Benutzer interaktiv frei in drei Rotationsdimensionen rotieren kann und deren Inneres mit sogenannten *Informationsobjekt*-Visualisierungsobjekten gefüllt ist. Auf der Grundlage von verschiedenen informationellen Kriterien zur Bewertung dieser Informationsobjekte, werden aus Sicht der angestrebten Informationsvisualisierung sogenannte *Referenzpunkte* im Sinne des VIBE-Ansatzes von [Korfhage 91] definiert. Dabei repräsentiert jeder Referenzpunkt eines der oben genannten informationellen Kriterien des Informationsdialoges. Diese werden anhand von visuellen Referenzpunktsymbolen in Form von kleinen *Referenzpunktkugel*-Visualisierungsobjekten auf der Oberfläche des Referenzkugel-Visualisierungsobjektes beliebig positioniert. Innerhalb der Referenzkugel wird zum leichteren Verständnis des abstands-orientierten

Layoutalgorithmus der Informationsvisualisierungsfunktion für die Informationsobjekte eine *Anziehungskraftmetapher* definiert. Die Stärke der Anziehung zwischen einem Referenzpunkt und seinen Informationsobjekten wird dabei durch einen numerischen *Referenzwert* ausgedrückt, welcher den Grad beschreibt, in welchem die Informationsobjekte im Inneren der Referenzkugel das Kriterium, das der zugehörige Referenzpunkt repräsentiert, erfüllen. Entsprechend der Referenzwerte der Informationsobjekte zu den Referenzpunkten, werden jedem Referenzpunktkugel-Visualisierungsobjekt die Informationsobjekt-Visualisierungen im Inneren der Referenzkugel am nächsten positioniert werden, welche innerhalb der gesamten Informationsobjektmenge der Referenzkugel den höchste Referenzwert zu ihrem Referenzpunkt haben. Das bedeutet im Sinne der oben genannten Metapher, daß die Referenzpunkte die Informationsobjekte entsprechend der Höhe ihrer Referenzwerte unterschiedlich stark aus dem Referenzkugelmittelpunkt „anziehen“ (siehe auch „federbasierte“ Ansätze in Bead, Kapitel 3). Ist anhand der Darstellung eines solchen Layouts aufgrund von räumlich überlappenden Referenzpunkteinflüssen und deren Projektion in die zweidimensionale Bildebene nicht eindeutig zu erkennen, durch welche Referenzpunkteinflüsse die Position eines Informationsobjektes zustandekommt, liegt eine Ambiguität der visuellen Darstellung vor. In diesem Fall können die Benutzer die Positionen der Referenzpunkt-Visualisierungsobjekte auf der Oberfläche der Kugel interaktiv verändern und gleichzeitig beobachten, wie sich die Position der Informationsobjekte der Ergebnismenge im Inneren der Relevanzkugel entsprechend mitverändern [Hemmje et al. 94a].

Die Visualisierung der Relevanzwerte der Elemente von explorativen Ergebnismengen in einen räumlichen Abstand (bzw. generischer: die Visualisierung von Referenzwerten für Referenzpunkte und Informationsobjekte) muß nicht unbedingt in Form einer Abbildung auf einen geometrischen Abstand geschehen. Es sind genauso Abbildungen auf andere Attribute einer graphischen Darstellung denkbar (wie zum Beispiel eine Abbildung auf die Farbwerte der Darstellung und einem damit definierten „Farbabstand“ zwischen den Informationsvisualisierungsobjekten). Wir verfolgen jedoch in dem im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Ansatz der Relevanzkugelvisualisierung ausschließlich die Strategie der Abbildung des Relevanzwertes von Informationsobjekten auf einen *räumlichen* Abstand innerhalb der Informationsvisualisierung. Die Konkretisierung des Referenzkugel-Visualisierungsmodells für die Anwendung im LyberWorld-Protoyp wird im folgenden

durch die Abbildung der Term-Dokument-Relevanzbewertungsmatrix auf das Referenzkugel-Visualisierungsmodell entworfen.

(3) Abbildung der Term-Dokument-Relevanzbewertungsmatrix auf die Referenzpunktkugel und Entwurf der Informationsvisualisierungsfunktion der Relevanzkugel

Die Abbildungsfunktion des Relevanzbewertungsmatrix-Modells auf das Referenzkugel-Visualisierungsmodell zur Erzeugung einer sogenannten *Relevanzkugel*-Informationsvisualisierung stellt wie bereits erwähnt eine Weiterentwicklung des zweidimensionalen Abbildungsmodells des VIBE-Ansatzes [Korfhage 91] dar. Darüber hinaus wird die Abbildung wegen des höheren Anordnungsfreiheitsgrades der Visualisierungsmethode auf eine Anordnung der Informationsobjektvisualisierungen im 3D-Raum erweitert. An die Stelle des im VIBE-Ansatz durch die Referenzpunkte aufgespannten Polygons tritt im folgenden die bereits erwähnte Kugeloberfläche, auf der die Informationsvisualisierungsobjekte der Referenzpunkte möglichst gleichmäßig verteilt dargestellt werden.

In der im LyberWorld-Protoyp vorliegenden Volltext-Information-Retrieval-Anwendung werden die Referenzpunkte als Informationsvisualisierungsobjekte für die Terme von Dokumentanfragen der Dokumentexplorationen eines explorierenden, navigierenden und bewertenden Informationsdialoges verwendet. Wir bezeichnen diese Informationsvisualisierungsobjekte im folgenden als *Dokumentanfrageterm-Rereferenzpunkt-Kugeln*. Im weiteren Verlauf der Beschreibung der Relevanzkugel nennen wir diese Informationsvisualisierungsobjekte der besseren Lesbarkeit zuliebe nur noch *Referenzpunkte*, da es ohnehin nur einen Typ von Referenzpunkt-Informationsvisualisierungsobjekten im LyberWorld-Prototyp gibt. In anderen Anwendungen der Referenzpunktkugel (siehe z.B. [Schweikert & Hemmje 96], [Pederson 97]) werden die Kriterien der Referenzpunkte durch komplexere Anfragen sowie deren korrespondierende Informationsobjekte und Referenzwertzuordnungen ausgedrückt. Die in der Relevanzkugel-Informationsvisualisierung zu visualisierenden Informationsobjekte sind im Volltext-Information-Retrieval-Anwendungsfall des LyberWorld-Protoyps nur die Textdokumente der Kontextmenge, da die Benutzer nur für diese Informationsobjekte bei der Bewertung ihrer Zugehörigkeit zur Interessensmenge der Benutzer unterstützt werden sollen, denn der Informationsdialog mit einem Information-Retrieval-Informationssystem

zielt in der Regel auf Kernergebnismengen in Form von reinen Dokumentmengen ab. Das heißt, die Dokumente der Relevanzbewertungsmatrix werden im Inneren der Relevanzkugel als *Dokument-Informationsvisualisierungsobjekte* dargestellt. Auch hier werden wir im weiteren Verlauf der Beschreibung der Relevanzkugel-Informationsvisualisierung nur von *Dokumenten* sprechen, da es ohnehin nur einen Typ von Informationsobjekt-Informationsvisualisierungsobjekten in der Relevanzkugel-Informationsvisualisierung im LyberWorld-Prototyp gibt. Die Dokumente in der Relevanzkugel werden dann, wie bereits erwähnt, entsprechend ihrer Relevanzwerte und etwaiger Interessensbewertungen der Benutzer von ihren Referenzpunkten im Sinne der Anziehungskraftmetapher „angezogen“.

Mitentscheidend für die Nützlichkeit einer visuellen Darstellung der Ergebnismengen eines Informationsdialoges ist die Effektivität der Abbildung der informationellen Beziehungen der Explorationenselemente auf die geometrischen Parameter der Darstellung. Im Fall der Relevanzkugel ist dies die Abbildung der *Relevanzwerte* zwischen Dokumenten und Referenzpunkten sowie der *Interessensbewertungen* auf *kumulierte Relevanzbewertungsabstandswerte* und deren Interpretation (im Sinne der Anziehungsmetapher) als *Relevanzbewertungsanziehungsvektoren* zwischen den Informationsvisualisierungsobjekten für Referenzpunkte und Dokumente in einem 3D-Kugelraum. Benutzer können anhand der Position der Dokumente die kumulierte Relevanzbewertungsabstandswerte zwischen Referenzpunkten und Dokumenten, eine inhaltliche Zuordnung der Dokumente zu den Referenzpunkten sowie der Dokumente gleicher Ergebnismengen untereinander visuell wahrnehmen. Die Berechnung geeigneter Relevanzbewertungsabstandswerte bzw. Relevanzbewertungsanziehungsvektoren geschieht anhand der kumulierten Relevanzbewertung zwischen Term-basierten Dokumentanfragen und den Dokumenten der korrespondierenden Ergebnismengen eines explorierenden, navigierenden und bewertenden Informationsdialoges, wie sie im Bewertungszustand des Informationsdialoges beschrieben und damit in der Relevanzbewertungsmatrix repräsentiert sind. Dabei können die Relevanzbewertungsabstandswerte bzw. die Relevanzbewertungsanziehungsvektoren $\vec{A}_{i,j}$ zwischen allen Dokumenten $d_i \in (CONTEXT_{h,n} \cap DOCUMENT_s)$ eines explorierenden, navigierenden und bewertenden Term-Dokument-Informationsdialog $h \in D_{s,u}$ zwischen einem Benutzer $u \in USER$ und einer Datenquelle $s \in SOURCE$ mit $h = (a_1, \dots, a_n)$ und

allen Referenzpunkten $q_j \in (h \cap \text{DOCUMENTQUERY})$ mit den für alle Referenzpunkte beliebig gewählten Referenzpunktpositionen \vec{t}_j durch $\vec{A}_{i,j} = \text{TDREMATRIX}(i,j) \cdot \vec{t}_j$ berechnet werden.

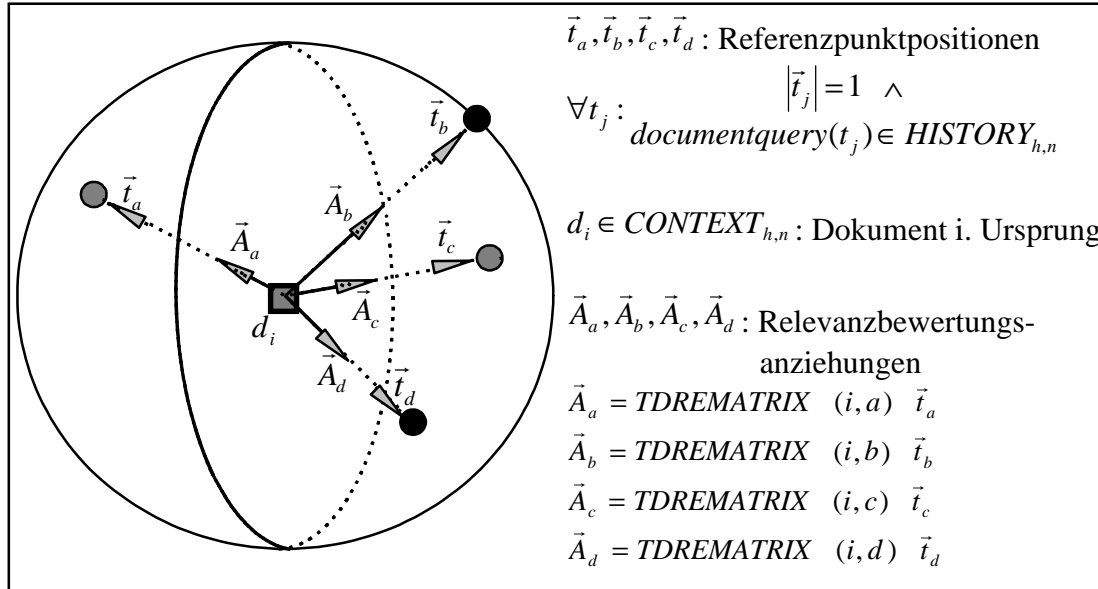


Abbildung 27: Vektoren der Referenzpunktanziehungskräfte

Die Abbildung 27 zeigt exemplarisch für vier Referenzpunkte t_a, t_b, t_c und t_d eines explorierenden, navigierenden und bewertenden Informationsdialoges deren beliebig gewählte vier Referenzpunktpositionsvektoren $\vec{t}_a, \vec{t}_b, \vec{t}_c$ und \vec{t}_d , die sich im Abstand 1 vom Ursprung der Relevanzkugel befinden, sowie die vier resultierenden Relevanzbewertungsanziehungsvektoren $\vec{A}_a, \vec{A}_b, \vec{A}_c$ und \vec{A}_d für ein beliebiges Dokuments d_i , das sich im Ursprung der Relevanzkugel befindet, weil seine Positionierung anhand der Relevanzbewertungsanziehungsvektoren noch nicht erfolgt ist. Die Relevanzbewertungsanziehungsvektoren berechnen sich durch eine Matrixmultiplikation der Referenzpunktpositionsvektoren mit den Relevanzbewertungsabständen der Relevanzbewertungsmatrix für die jeweiligen Dokument-Referenzpunktpaare.

Der Positionsvektor \vec{d}_i für alle Dokumente $d_i \in (\text{CONTEXT}_{h,n} \cap \text{DOCUMENT}_s)$ der Kontextmenge errechnet sich dann in der Relevanzkugel-Informationsvisualisierung weiter aus der Addition, d.h. der Resultante der einzelnen Relevanzbewertungsanziehungsvektoren für dieses Dokument bezüglich aller

Referenzpunkte der Kontextmenge zu $\vec{d}_i = \sum_{j=1}^m \vec{A}_{i,j}$. Die Positionen aller Dokumente müssen dann noch auf das Volumen einer Term-Dokument-Relevanzkugel mit Radius r normiert werden. Die normierten Dokumentpositionen können durch $\vec{d}_i^{norm} = \frac{\vec{d}_i}{l_{\max}}$ mit $l_{\max} = \max_{i=1,\dots,k} |\vec{d}_i|$ berechnet werden. In Abbildung 28 werden die vier Relevanzanziehungsvektoren $\vec{A}_a, \vec{A}_b, \vec{A}_c$ und \vec{A}_d des exemplarischen Dokumentes d_i für die Referenzpunkte t_a, t_b, t_c und t_d zu einem Positionsvektor \vec{d}_i^{norm} , der die Dokumentposition beschreibt, addiert und normiert. Die Positionierung des Dokumentes d_i entsprechend der exemplarischen Referenzpunktpositionen in der Relevanzkugel-Informationsvisualisierungssituation aus Abbildung 27 ist damit abgeschlossen.

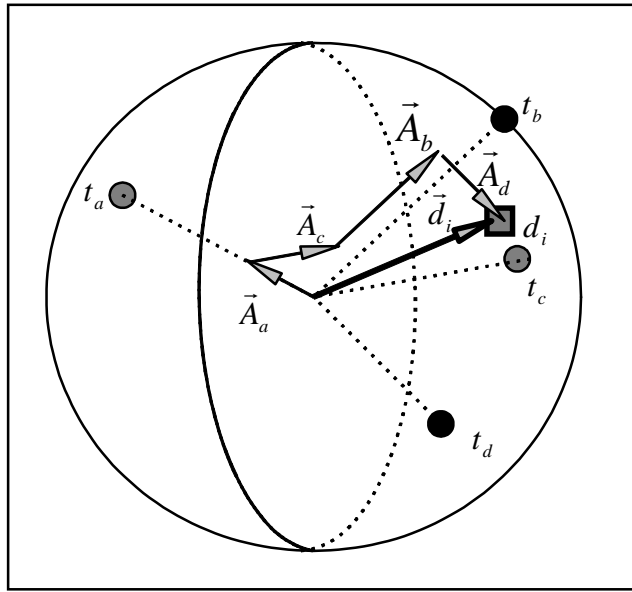


Abbildung 28: Positionierung der Dokumente

Entscheidend für die visuelle Aussage einer Positionierung aller Dokumente Inneren der Relevanzkugel-Informationsvisualisierung ist somit die Anordnung der Referenzpunkte auf der Oberfläche der Relevanzkugel. Durch die Anordnung der Referenzpunkte wird das Innere der Kugel quasi in visuelle Segmente aufgeteilt, deren Eckpunkte auf der Kugeloberfläche durch die Referenzpunkte definiert sind. Wie Abbildung 29 zeigt, befinden sich in einem Segment jeweils die Dokumente, für welche die segmentbildenden Referenzpunkte am stärksten relevant sind.

(4) Diskussion der automatischen initialen Positionierung der Referenzpunkte

Bei der automatischen initialen Positionierung der Referenzpunkte durch das Informationssystem sollen die Referenzpunkte möglichst gleichmäßig verteilt sein, um möglichst gleichgroße und gleichverteilte Volumen der durch die Referenzpunkte definierten visuellen Relevanzsegmente im Inneren der Kugel zu erhalten. Denkbar ist auch, eine initiale Positionierung abhängig von semantischen oder anderen informationellen Beziehungen zwischen einzelnen Referenzpunkten durchzuführen. Dies bedeutet, daß das Informationssystem Referenzpunkte, die es z.B. als ähnlich oder semantisch verwandt beurteilt bzw. berechnen kann, näher zueinander positionieren könnte.

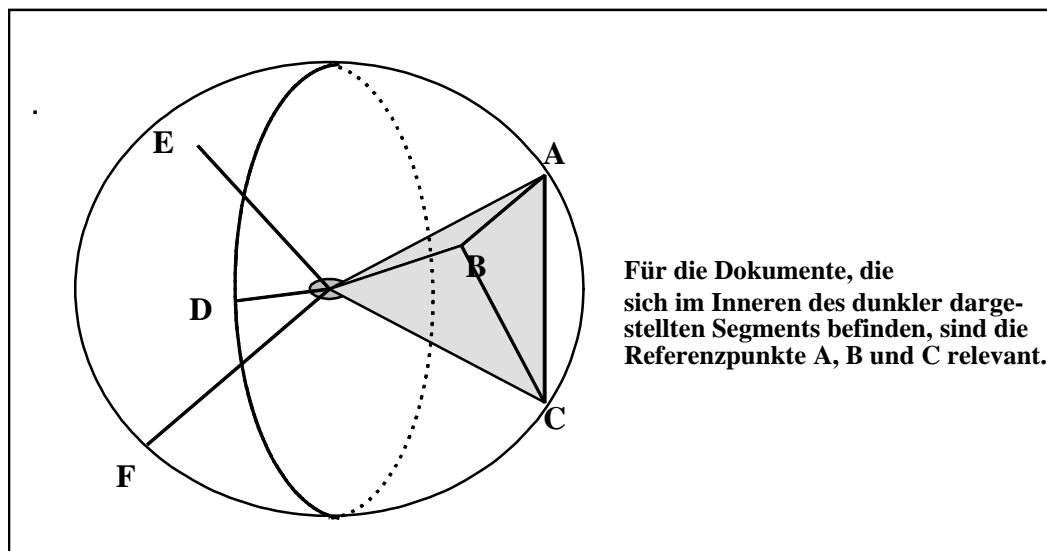


Abbildung 29: Darstellung eines Themensegmentes der Relevanzkugel

Das Problem einer solchen Vorgehensweise ist jedoch, daß das Informationssystem für derartige Optimierungen der Informationsvisualisierung wiederum z.B. eine völlig eigenständige Berechnung einer Ähnlichkeitsbeurteilung durchführen würde, ohne die individuelle Suchsituationen der Benutzer zu berücksichtigen. So können Worte und somit Referenzpunkte in verschiedenen Suchsituationen z.B. aus Sicht der Benutzer unterschiedlich stark verknüpft sein.

Ausgehend von einer Gleichverteilung der Referenzpunkte auf der Referenzkugeloberfläche sollte es deshalb den Benutzern überlassen sein, die Referenzpunkte nach ihren individuellen Anforderungen anzuordnen, zu gruppieren und durch Bewertungsdialogakte zu gewichten. Für automatische Anordnungen der Referenzpunkte durch das Informationssystem zur Unterstützung der Benutzer bei

anwendungsspezifischen Aufgaben sind geeignete domänenspezifische Anordnungen zu finden und ausführlich im Kontext der jeweiligen Anwendung z.B. durch Benutzerexperimente zu testen. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden wir jedoch von einer Gleichverteilung ausgehen.

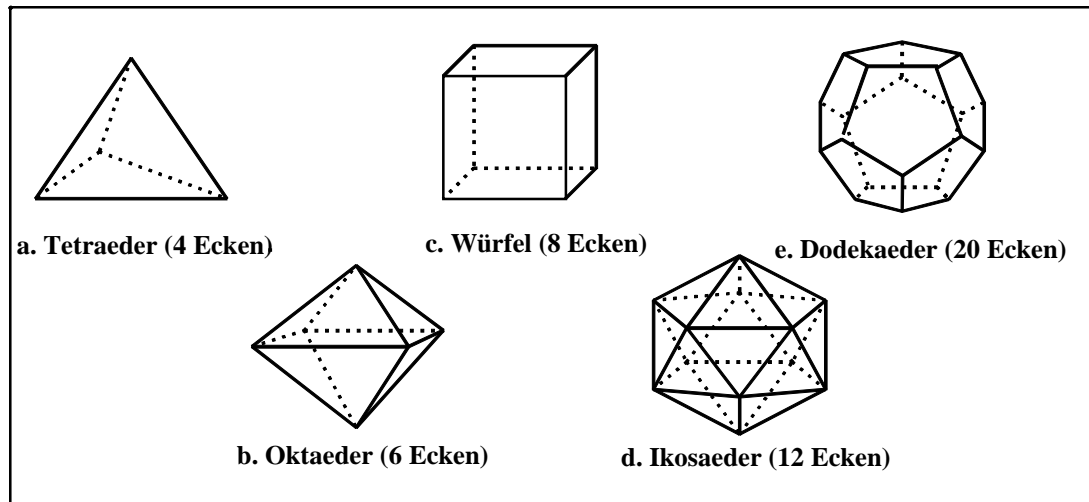


Abbildung 30: Gleichverteilte Positionierung durch platonischen Polyeder

Bei einer Gleichverteilung spannen die Referenzpunkte einen regulären Polyeder auf (siehe Abbildung 30). Reguläre Polyeder werden von kongruenten regulären Polygonen begrenzt. Die in einer Ecke zusammenlaufenden Kanten bilden kongruente Eckenfiguren. Da ein n -Eck in $(n-2)$ Dreiecke zerlegt werden kann, beträgt die Größe eines Innenwinkels im regulären n -Eck $\frac{(n-2)\pi}{n}$. An jeder Ecke eines Polyeders stoßen mindestens drei Flächen

zusammen. Da die Summe der an einer Ecke liegenden Winkel aber kleiner als 2π sein muß, gibt es nur die Möglichkeiten, daß an jeder Ecke 3, 4, oder 5 gleichseitige Dreiecke, 3 Quadrate oder 3 Pentagone zusammenstoßen. Da es damit nur fünf reguläre, konvexe Polyeder gibt, ist eine genaue Gleichverteilung nur bei fünf verschiedenen Kardinalitäten der Referenzpunktmenge möglich. Für Referenzpunktmenge anderer Kardinalitäten muß eine annähernde Gleichverteilung genügen, auf deren näherungsweise Berechnung wir aber im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls nicht weiter eingehen wollen. In bestimmten Anwendungssituationen kann auch eine vorkonfigurierbare Verteilung der Referenzpunktpositionierung, in der für jede sinnvolle Anzahl von Referenzpunkten und für jeden einzelnen Punkt die initiale Position eingetragen ist, realisiert werden. Jeder Eintrag in einer solchen Konfigurationstabelle beschreibt eine Position auf der Kugel durch

zwei Winkelangaben für Rotationen um zwei der drei Achsen des kartesischen Koordinatensystems der Relevanzkugel.

(5) Diskussion und Evaluation der visuellen Effektivität

Wie bei der Polygondarstellung des VIBE-Systems entsprechen die Abstände der Dokumente von den einzelnen Referenzpunkten nicht den absoluten Relevanzwerten, sondern der Summe der Relevanzbewertungsbeziehungen des Dokumentes zu allen Referenzpunkten. Auch in der Relevanzkugeldarstellung können deshalb Dokumente aus verschiedenen Gründen an derselben Position im 3D-Raum liegen. Durch den zusätzlichen Visualisierungsfreiheitsgrad der dreidimensionalen Darstellung ist jedoch die Wahrscheinlichkeit einer informationellen Mehrdeutigkeit durch eine solche Positionsüberlappung von Dokumenten oder durch unklare Ursachen für eine Dokumentposition geringer als bei der Darstellung in der Ebene. Beide Ursachen von Mehrdeutigkeiten werden wir im folgenden noch etwas weiter untersuchen.

Während beispielsweise bei der 2D-Darstellung von 12 Referenzpunkten 12 Segmente innerhalb der Visualisierung unterschieden werden können, bietet die dreidimensionale Kugeldarstellung bei gleichem Radius und gleichem Öffnungswinkel der Segmente die doppelte Anzahl von visuellen Segmenten (siehe Abbildung 31).

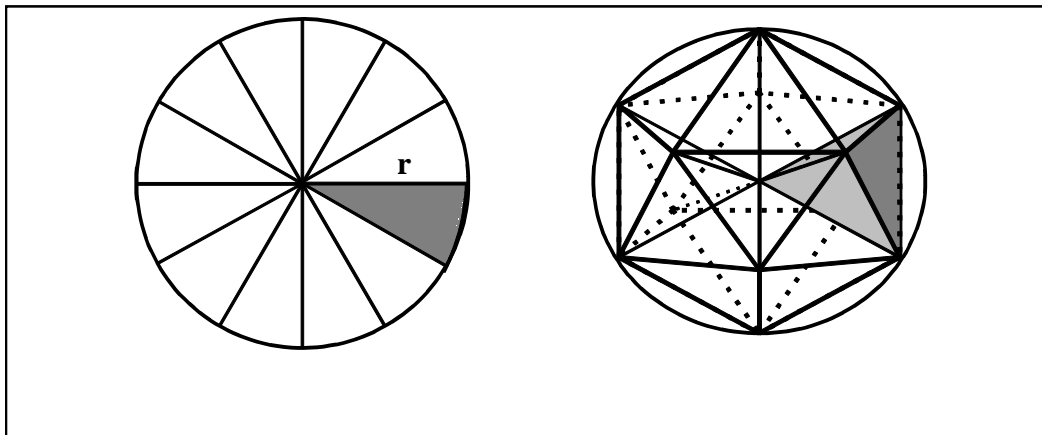


Abbildung 31: Potentielle Segmentierung in 2D und 3D

Dieses einfache Beispiel dokumentiert, daß der höhere Freiheitsgrad in der Kugeldarstellung es den Benutzern potentiell erleichtert, Dokumente verschiedenen Gruppierungen von Informationsobjekten zuzuordnen als dies in zweidimensionalen Darstellungen der Fall ist. Darüber hinaus bietet die dreidimensionale Relevanzkugeldarstellung einen höheren Freiheitsgrad zur Positionierung der

Referenzpunkte auf der Oberfläche. Ein konkreter Vergleich der potentiell möglichen Positionsanzahlen lässt sich anhand der folgenden Formalisierung durchführen:

1. In der zweidimensionalen Darstellung durch einen Kreis mit Radius r lässt sich die Anzahl der möglichen Referenzpunktpositionen auf dem Kreisumfang bei einer minimal akzeptablen Distanz e zwischen zwei Referenzpunkten wie folgt berechnen:

$$\#RP2D(r,e) = \left\lfloor \frac{2\pi r}{e} \right\rfloor$$

2. In der dreidimensionalen Darstellung lässt sich die Anzahl der möglichen Positionen auf der Oberfläche einer Relevanzkugel bei einer minimalen Distanz e zwischen zwei Referenzpunkten mit Radius r durch folgende Funktion berechnen:

$$\#RP3D(r,e) = \left\lfloor \frac{4\pi r^2}{\pi e^2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{4r^2}{e^2} \right\rfloor$$

Das Verhältnis der beiden Anzahlen der Darstellungen erhält man somit als Quotient der beiden Funktionen zu:

$$\frac{\#RP3D(r,e)}{\#RP2D(r,e)} = \frac{\left\lfloor \frac{4r^2}{e^2} \right\rfloor}{\left\lfloor \frac{2\pi r}{e} \right\rfloor} \approx \frac{4r^2}{e^2} \cdot \frac{e}{2\pi r} = \frac{2r}{\pi e}$$

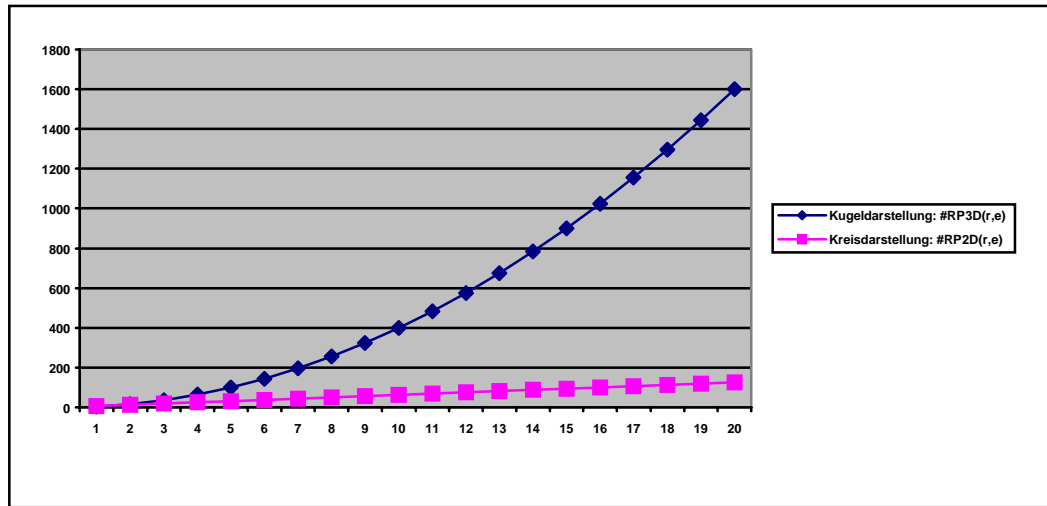


Abbildung 32: Anzahlen möglicher Referenzpunkte mit (e=1)

Da man bei den beschriebenen Layouts von $r \gg e$ ausgehen kann, bietet die Relevanzkugeldarstellung bei gleichem Radius r mindestens um einen Faktor $\frac{2r}{e\pi}$ mehr Freiheit die Referenzpunkte zu positionieren (siehe Abbildung 32).

Ähnlich lassen sich die Anzahlen der möglichen Positionen der Dokumente in Kreis- und Relevanzkugeldarstellung näherungsweise vergleichen:

1. In der zweidimensionalen Darstellung im Inneren eines Kreises mit Radius r sowie bei einer minimalen räumlichen Ausdehnung d eines Dokumentes läßt sich die Anzahl der möglichen Dokumentpositionen wie folgt berechnen:

$$\#DP2D(r,d) = \left\lfloor \frac{\pi r^2}{\pi d^2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{r^2}{d^2} \right\rfloor$$

2. In der dreidimensionalen Darstellung läßt sich die Anzahl der möglichen Dokumentpositionen im Inneren einer Relevanzkugel mit Radius r bei einer minimalen räumlichen Ausdehnung d eines

$$\text{Dokumentes wie folgt berechnen: } \#DP3D(r,d) = \frac{\left\lfloor \frac{4}{3}\pi r^3 \right\rfloor}{\left\lfloor \frac{4}{3}\pi d^3 \right\rfloor} = \left\lfloor \frac{r^3}{d^3} \right\rfloor$$

Mit den beiden Funktionen läßt sich somit das Verhältnis zwischen den Anzahlen der möglichen Dokumentpositionen wie folgt berechnen:

$$\frac{\#DP3D(r,d)}{\#DP2D(r,d)} = \frac{\left\lfloor \frac{r^3}{d^3} \right\rfloor}{\left\lfloor \frac{r^2}{d^2} \right\rfloor} = \left\lfloor \frac{r}{d} \right\rfloor$$

Da man von $r \gg d$ ausgehen kann, bietet die Relevanzkugeldarstellung also bei gleichem Radius r des Darstellungsraumes und bei gleicher Dokumentausdehnung d deutlich mehr Möglichkeiten, die Dokumente zu positionieren. Es wird somit unwahrscheinlicher, daß Dokumente, die sich bezüglich ihrer Referenzpunktrelevanzen nicht ähnlich sind, räumlich nahe zueinander positioniert werden. Diese Problematik wird in Abbildung 33 und Abbildung 34 an einem Präsentationsbeispiel mit vier Relevanzpunkten innerhalb einer zweidimensionalen Segmentdarstellung des korrespondierenden Referenzpunktpolygons eines Kreises sowie einer dreidimensionalen Segmentdarstellung einer Relevanzkugel verdeutlicht.

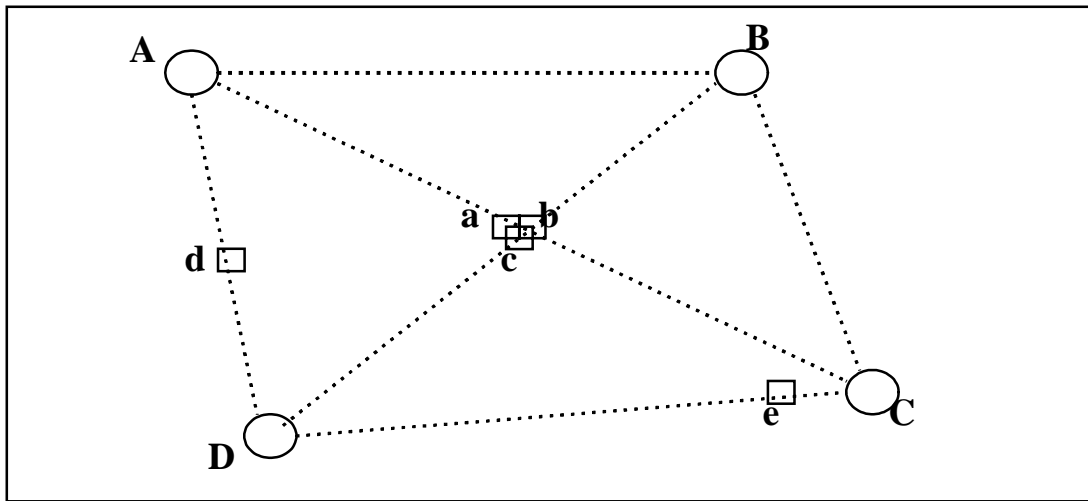


Abbildung 33: 2D-Ergebnisdarstellung des VIBE-Systems

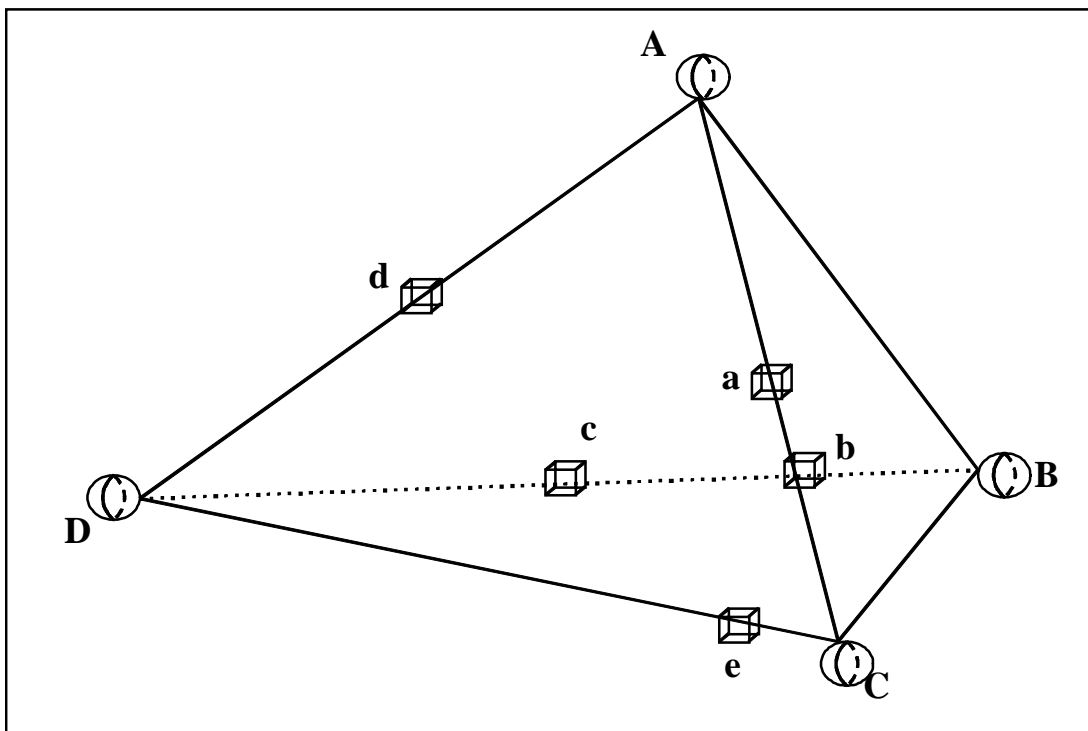


Abbildung 34: 3D-Ergebnisdarstellung der Relevanzkugel

In der zweidimensionalen Darstellung (wie sie z.B. im VIBE-System Verwendung findet) werden die Dokumente *a*, *b* und *c*, obwohl sie völlig unterschiedliche Relevanzwerte bezüglich der vier Referenzpunkte haben, an der gleichen Position dargestellt. In der dreidimensionalen Darstellung hingegen lässt sich die semantische Abhängigkeit dieser drei Dokumente zu den verschiedenen Referenzpunkten leicht ablesen, da die Dokumente hier aufgrund des höheren visuellen Freiheitsgrades bezüglich der Dokumentpositionierung mit höherer Wahrscheinlichkeit eindeutig differenzierbare Positionen einnehmen können.

Einen weiteren Vorteil der Relevanzkugeldarstellung gegenüber der in VIBE realisierten Methode stellt die Normierung der abgebildeten Relevanzwerte dar. Diese erleichtert den Benutzern die visuell-direktmanipulative Analyse von Relevanzabhängigkeiten zwischen verschiedenen Referenzpunkt(meng)en und Informationsobjekt(meng)en.

Um die auch innerhalb der dreidimensionalen Darstellungsmethode noch verbleibende Problematik von mehrdeutigen Positionierungen zu kompensieren, ist es sinnvoll, den Benutzern Interaktionsmöglichkeiten zur Manipulation des Blickpunktes sowie der Referenzpunktpositionen und der Distanzberechnungsfunktionen zur Verfügung zu stellen. Durch eine interaktive Manipulation der Darstellung können sich die Benutzer Klarheit darüber verschaffen, welche Referenzpunkte für die Position bestimmter Dokumente verantwortlich sind. Diese Interaktionsmöglichkeiten werden im folgenden Abschnitt eingeführt.

(6) Definition der Interaktionsfunktionen und -kanäle

Wie bereits oben gefordert, muß es den Benutzern ermöglicht werden, die Position der Referenzpunkte auf der Kugeloberfläche zu verändern. Sie können Referenzpunkte, die ihnen für ihre Suchsituation besonders relevant erscheinen, so positionieren, daß sie ein Themensegment bilden. Das Verständnis für die semantischen Zusammenhänge der einzelnen Referenzpunkte und ihrer Ergebnismengen wird durch eine unmittelbare direkte visuelle Reaktion der Dokumente auf Positionsveränderungen bei den Referenzpunkten verstärkt. Wenn ein bestimmter Referenzpunkt bewegt wird, so folgen ihm innerhalb einer unmittelbar ausgelösten Animation alle Dokumente, für die er relevant ist. Es muß den Benutzern darüber hinaus ermöglicht werden, je nach der Relevanz, die er bestimmten Anfragen in seiner aktuellen Suchsituation zumißt, den Referenzpunkten verschiedene Interessengewichte zuzuordnen und diese interaktiv zu verändern. Hiermit ändert sich für die Benutzer innerhalb der verwendeten Metapher auch die Anziehungskraft der Referenzpunkte und für den Layoutalgorithmus des Systems ein weiterer Parameter der räumlichen Distanzberechnung. Visualisiert wird der Vorgang, indem die Größe der Referenzpunkte sich proportional zu dessen jeweiligem Relevanzwert ändert. Weil es vorkommen kann, daß sich in der Kugelmitte sehr viele Dokumente befinden, ist es ferner notwendig, mit Hilfe einer interaktiven Funktionalität die visuelle Dichte der Abbildung mit Hilfe eines entsprechenden Faktors der Distanzberechnungsabbildung zu verändern [Hemmje et al. 94a]. Die entsprechenden interaktiven Funktionalitäten der

Relevanzkugelvisualisierung werden in den folgend Abschnitten genauer anhand von Beispielen entworfen und erläutert.

(7) Interaktive Positionierung der Referenzpunkte

Als erstes muß es den Benutzern ermöglicht werden, die Position der Referenzpunkte auf der Kugeloberfläche zu ändern. Gruppen von Referenzpunkten, die bezüglich des Benutzerinteresses verwandt oder für die Suchsituation besonders relevant erscheinen, können dadurch so positioniert werden, daß sie ein visuelles Segment bilden. Abbildung 35 zeigt ein solches visuelles Segment (entnommen aus einem im nächsten Kapitel noch ausführlicher erläuterten Beispiel), das durch die Terme *house*, *energy* und *solar* gebildet wird. Die drei durch die Referenzpunkte dargestellten Begriffe sind für die durch die Dokumente repräsentierten Volltextdokumente relevant. Das Verständnis für die Relevanz- und Ähnlichkeitsrelationen zwischen den einzelnen Referenzpunkten und den Dokumenten kann durch dynamische Reaktionen der Dokumente auf Positionsveränderungen der Referenzpunkte verstärkt werden. Wenn ein bestimmter Referenzpunkt bewegt wird, so folgen ihm alle Dokumente, für die er relevant ist.

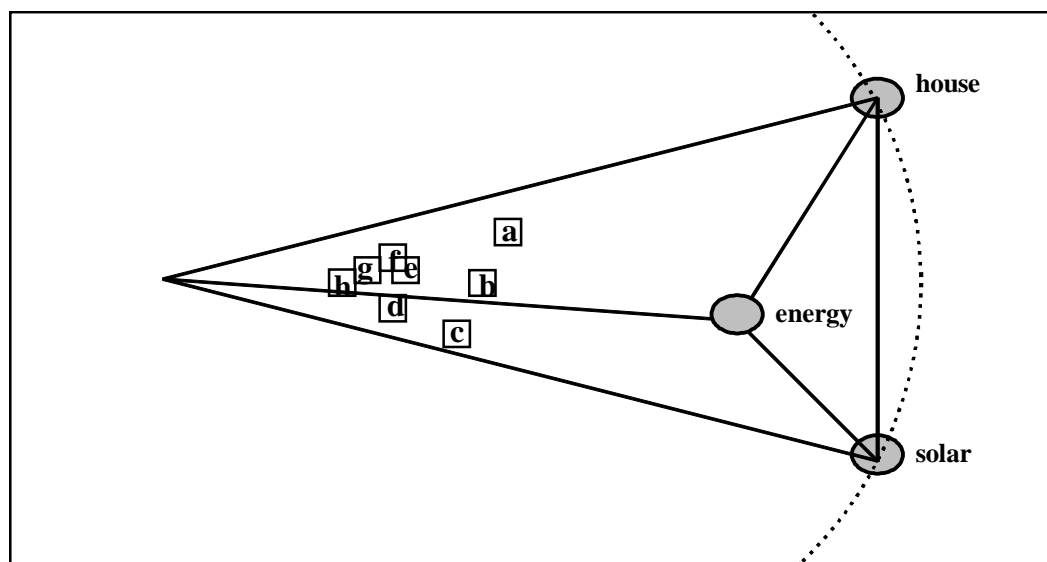


Abbildung 35: Themensegment in der Relevanzkugel

Als intuitiv verständliches Eingabemedium für die Rotationsbewegung der Referenzpunkte auf der Kugeloberfläche eignen sich z.B. besonders gut Eingabegeräte wie der Spaceball [Spaceball 91], da er dem Benutzer einen direktmanipulativen Interaktionskanal für die 3D-Interaktionen Translation und Rotation bietet. Darüber hinaus läßt sich jedoch eine Bewegung der Referenzpunkte auf der Kugeloberfläche auch mit einer normalen Maus als

Eingabegerät realisieren. Da durch Rotationen um zwei der drei Achsen jede Position auf der Oberfläche der Kugel erreicht werden kann, reicht es aus, die vier Richtungen der Mausbewegung in der Ebene auf vier Rotationsrichtungen um die Kugel abzubilden. Eine genauere Betrachtung dieser Problematik findet sich in [Leissler & Hemmje 97]

(8) Interaktive Gewichtung der Referenzpunkte

Da die verschiedenen Referenzpunkte in den unterschiedlichen Dialogsituation der Benutzer unterschiedlich relevant sein können, muß es den Benutzern ermöglicht werden, den Referenzpunkten verschiedene Interessensgewichte zuzuordnen und diese interaktiv zu verändern. Eine solche Gewichtsveränderung stellt einen Dialogakt einer *Interessensgewichtung* einer auf einer explorativen Termanfrage beruhenden Dokumentergebnismenge innerhalb der Kontextmenge bezüglich eines informationellen Benutzerinteresses durch den Benutzer entsprechend seinem Informationsbedürfnis und damit dem Grad der Zugehörigkeit dieser Ergebnismenge zu seiner Interessensmenge dar. Ein Tupel $\langle documentquery(t_j), e \rangle$ beschreibt eine solche Interessensgewichtung für die Ergebnismenge einer Dokumentanfrage $documentquery(t_j) \in DOCUMENTQUERY_s$ an eine Datenquelle $s \in SOURCE$ und ein Interessensbewertung $e \in R^+$. Dieser Dialogakt verändert somit den Bewertungszustand und damit die Bewertungsmatrix des Informationsdialoges. Folglich müssen alle Dokumentpositionen der Dokumente der Ergebnismenge von $result_s(documentquery(t_j))$ im Kontext neu berechnet werden. Bemerkung: Innerhalb des LyberWorld-Prototyps können Benutzer nur Dokumentexplorationen bewerten.

Es sind verschiedene Möglichkeiten denkbar, für die Benutzer die Veränderung des Interessensgewichtes e eines Referenzpunktes zu visualisieren. So wird beispielsweise in der zweidimensionalen Darstellung des VIBE-Systems die geometrische Distanz der Referenzpunkte vom Schwerpunkt des Polygons vergrößert, um eine stärkere Gewichtung zu visualisieren. Ein analoges Vorgehen hätte im Relevanzkugelvisualisierungsmodell zur Folge, daß die Referenzpunkte nicht mehr auf einer Kugeloberfläche liegen würden, wodurch die Normierung der Darstellung verlorengeinge. In der Relevanzkugeldarstellung wird daher die Größe der Referenzpunkte proportional zu dem jeweiligen Gewichtswert verändert. Diese Art der Visualisierung unterstützt gleichzeitig das Verständnis des Benutzers für die Metapher der Anziehungskraft. Abbildung 36 zeigt das visuelle Segment

aus Abbildung 35 nach einer Verstärkung des Relevanzwertes des Referenzpunktes, der durch den Term *solar* definiert wird. Man erkennt, daß der Term *solar* besonders für die Dokumente, die mit *c,d* und *g* gekennzeichnet sind, relevant ist.

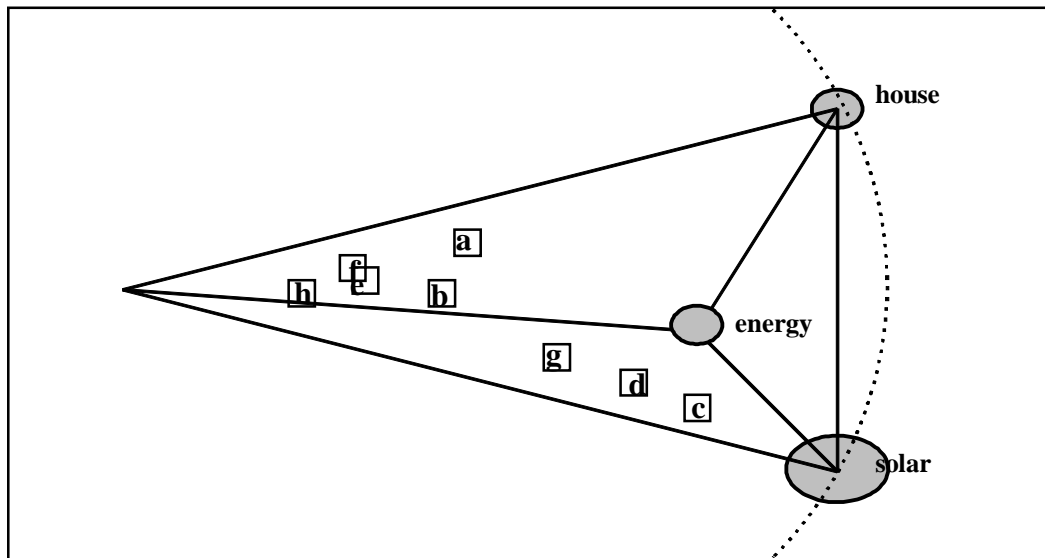


Abbildung 36: Veränderung des Relevanzwertes eines Referenzpunktes

Der Nachteil einer Abbildung der Interessengewichte auf die Referenzpunktgröße ist, daß es bei einer dreidimensionalen Darstellung auf einem gewöhnlichen zweidimensionalen Ausgabegerät zu Mißverständnissen kommen kann, wenn für die Benutzer nicht klar ersichtlich ist, ob eine bestimmte Referenzpunktgröße auf das Gewicht des Referenzpunktes oder auf seine Position im Raum zurückzuführen ist. Bei einer stereoskopischen Darstellung, die zum Beispiel durch den Einsatz von sogenannten stereoskopischen 3D-Shutter-Brillen erreicht wird, kann der Benutzer die Attribute Entfernung und Größe klar unterscheiden. Das Problem läßt sich jedoch auch ohne den Einsatz spezieller Ausgabegeräte umgehen, indem die Visualisierung der Interessengewichte durch eine Transparenz-, Intensitäts- oder Farbkodierung realisiert wird, d.h., wenn der Helligkeits- oder Farbsättigungswert der Referenzpunktvisualisierungen proportional zum jeweiligen Gewicht verändert wird.

5.3 Realisierung der Informationsvisualisierungen

Abschließend wird in diesem Kapitel kurz die funktionale Architektur des LyberWorld-Prototyps anhand der in Abbildung 37 dargestellten Übersicht erläutert. Auf eine detaillierte Beschreibung wird aus Raum- und Fokussierungsgründen innerhalb dieser Arbeit verzichtet. Eine ausführliche Beschreibung der technischen Spezifikation der

Module und der Klassen ihrer Implementierung finden sich in [Hemmje et al. 92], [Klement & Hemmje 97] und [Veit & Hemmje 97]. Ebenfalls nicht im Detail erläutert wird aus Raum- und Fokussierungsgründen die Architektur der zugrundeliegenden INQUERY-Information-Retrieval-Maschine und ihres Datenbanksystems (siehe hierzu [Callan/Croft/Harding 1992]) sowie das grafische System und seine Datenbank. Die vorgestellte Architektur erlaubt es, unabhängig von der Wahl des graphischen Systems zu bleiben. In Fall des LyberWorld-Protoyps wurden die computergraphischen Funktionen mit Hilfe von Silicon Graphics Iris Inventor, einem 3D-Graphik-Werkzeug, das auf den Arbeiten von [Strauss/Carey 1992] basiert, realisiert.

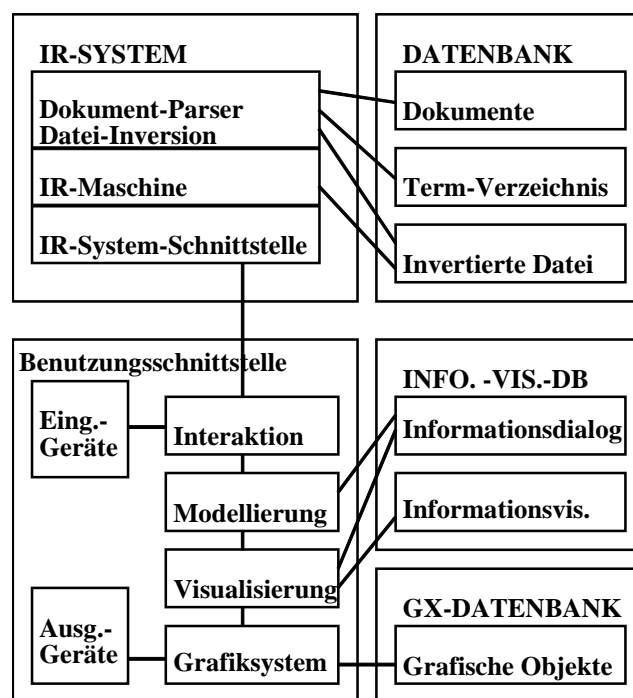


Abbildung 37: Die Architektur

Das *Interaktionsmodul* behandelt die eintreffenden Eingaben des Benutzers. Diese liegen in Form von Ereignissen der jeweiligen Eingabegeräte vor und müssen vom Interaktionsmodul in seinem Ereignisbehandlungsalgorithmus als Explorations-, Navigations-, Inspektions- oder Bewertungsanforderungen interpretiert werden. Neben der Tastatur für Texteingaben kann der Benutzer die gesamte Informationsvisualisierung einschließlich seines Blickpunktes und seiner Blickrichtung mit Hilfe eines 3D-Eingabegerätes oder der Maus kontrollieren. Diese Eingabegeräte ermöglichen ihm eine intuitive Kontrolle über die Informationsvisualisierung entsprechend der dreidimensionalen Natur der Visualisierungsmodelle.

Trifft eine Explorationsanforderung des Benutzers beim Interaktionsmodul ein, so führt dieser über die Schnittstelle des automatischen Information-Retrieval-Mechanismus die notwendigen Anfrageoperationen auf die Inhaltsmenge der Datenquelle INQUERY aus. Diese Informationen werden im nächsten Schritt vom Interaktionsmodul an das *Modellierungsmodul* übermittelt. Dieses überführt die erhaltenen Daten in eine abstrakte informelle Repräsentation der zu visualisierenden Szene. Danach überführt das *Visualisierungsmodul* die informationelle Repräsentation in einen Informationsvisualisierungskontext, d.h. eine abstrakte Beschreibung der gesamten Informationsvisualisierung. Darüber hinaus veranlasst der Visualisierer das *grafische System*, die Informationsvisualisierung, deren Visualisierungsobjekte in der zugehörigen Datenbank als Beschreibungen von graphischen Objekten abgelegt sind, zu konstruieren. Am Ende des interaktiven Informationsvisualisierungsprozesses erzeugt das Darstellungsmodul im graphischen System ein Bild der Informationsvisualisierung, indem es die notwendigen Rendering-Operationen durchführt. Als Ein-/Ausgabegeräte kommen ein hochauflösender Farbmonitor (später in Kombination mit einem stereoskopischen System, so daß die Räumlichkeit der Darstellung zum Tragen kommen kann) und ein Spaceball [Spaceball 1991] zur Anwendung.

6 Integrierte Anwendung, Bewertung und Ausblick

Im letzten Kapitel dieser Arbeit werden wir die integrierte Anwendung der im vorhergehenden Kapitel entworfenen Visualisierungswerkzeuge anhand eines integrierten Anwendungsbeispiels vorstellen und bewerten. Integrierte Anwendungen der beiden oben beschriebenen Visualisierungsmetaphern liegen derzeit in Form mehrerer prototypischer Anwendungssysteme vor. Anhand des Prototypen "LyberWorld2Cordis" [Hemmje et al. 94a] wird im folgenden der Umgang mit einem dieser Prototypen aus Sicht der Benutzer innerhalb einer durch eine Videoaufnahme protokollierten Beispielsitzung für eine Informationssuche in einer Volltextdatenbank vorgestellt. Eine detailliertere Bewertung dieser Sitzung findet sich in [Hemmje 95].

6.1 Prototyp LyberWorld2Cordis

Die Anwendung der Visualisierungswerkzeuge auf eine Volltext-Information-Retrieval-Aufgabe unterstützt im vorliegenden exemplarischen Fall das Volltext-Information-Retrieval-System INQUERY [Callan et al. 92] das auf der Basis des probabilistischen Information-Retrieval-Modells arbeitet. Darüber hinaus wurden die Visualisierungswerkzeuge jedoch auch für andere Anwendungen im Zusammenhang mit objektorientierten sowie mit relationalen Datenbankanwendungen integriert angewendet (siehe "LyberWorld2VODAK" [Schweikert & Hemmje 96], "LyberWorld2ADABAS" [Geuppert 96]), um eine Informationsvisualisierung zur Unterstützung eines Informationsdialoges mit Datenbank und Information-Retrieval-Systemen auf der Basis von visuell-direktmanipulativen Interaktionsparadigmen zu realisieren.

Als Datenbasis dient in dem im folgenden Anwendungsbeispiel beschriebenen Fall die CORDIS-Datenbank. Es handelt sich dabei um eine Volltextdatenbank, in der Volltext-Dokumente enthalten sind, die Forschungsprojekte der Europäischen Union beschreiben. Im LyberWorld2Cordis-System stehen den Benutzern die oben beschriebenen visuell-direktmanipulativen Informationsvisualisierungs- und Interaktionswerkzeuge „Kontextbaum“ und „Relevanzkugel“ zur Verfügung. Zusätzlich wurde die Metaper eines Leseraumes zur detaillierten Inspektion der Dokumentinhalte eingeführt. Mit Hilfe dieser Informationsvisualisierungs- und Interaktionswerkzeuge können die Benutzer eine Menge von Datenbankabfragen formulieren und die von der Datenbank als Antwort gelieferten

Ergebnismengen explorieren, in der derart erstellten Kontextmenge navigieren und deren Inhalte visuell-direktmanipulativ analysieren.

Nach dem Starten des Systems finden die Benutzer die in Abbildung 38 dargestellte Startsituation vor. Die drei Informationsvisualisierungswerkzeuge werden durch 3D-Icons repräsentiert. In der linken oberen Ecke befindet sich das Icon des Kontextbaumes, rechts oben das der Relevanzkugel und in der linken unteren Ecke das des Leseraumes. Um die Informationssuche zu starten, geben die Benutzer in das Eingabefenster in der linken oberen Ecke den textuellen Startterm der Anfrage eingeben. Dieser Startbegriff wird vom System nur akzeptiert, wenn es sich um einen Term handelt, der im Volltext-Wörterbuch der Datenbank existiert. Als erstes der drei Visualisierungswerkzeuge wird im vorliegenden Beispiel der Kontextbaum aktiviert.

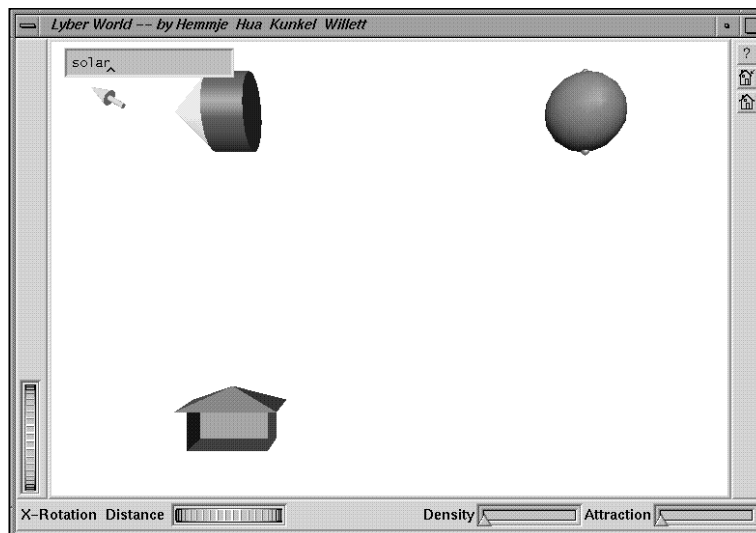


Abbildung 38: Typische Startsituation in LyberWorld2Cordis

Die erste Dokumentenebene des Baumes wird aus der Datenbank abgefragt und als Zylinder visualisiert (im Kontextbaumvisualisierungswerkzeug stand zu diesem Zeitpunkt noch keine Spiralisierungsfunktion zur Verfügung). Der Dokumentenzylinder besteht aus einzelnen Dokumentblättchen, auf denen die Dokumententitel als Textur dargestellt sind (siehe Abbildung 39).

In diese erste Dokumentenebene werden alle Dokumente der Datenbank aufgenommen, die von den Benutzern angegebenen Startterm der Anfrage - im dargestellten Beispiel der Begriff "solar" - enthalten. Der Benutzer kann den Dokumentenzylinder drehen und so auch die Titel der Dokumente, deren Blättchen sich auf der Rückseite des Zylinders befinden, lesen. Er kann ein ihm relevant erscheinendes Dokument anhand des Titels

auswählen und dadurch eine neue Unterebene des Kontextbaumes "expandieren". Durch dieses Expandieren eines Dokuments wird eine neue Termebene im Kontextbaum generiert, die alle für das Dokument relevanten textuellen Terme enthält. Diese Termebene wird in der Visualisierung über einen Kegel an das Wurzeldokumentenblättchen angeknüpft.

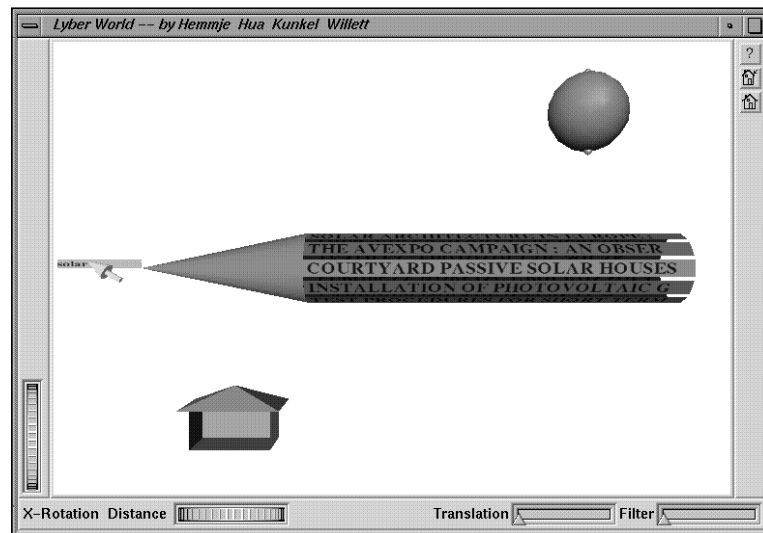


Abbildung 39: Ergebnis einer ersten Termexploration

Die Benutzer können nun durch Exploration weiterer Terme oder Dokumente des Kontextbaumes die Visualisierung erweitern und so den Bereich der Datenbank, der ihrem Suchinteresse entspricht, nach und nach explorieren. Weiterhin haben sie die Möglichkeit, neben dem Startterm der Anfrage weitere Anfrageterme einzugeben. Falls der hinzugefügte Schlüsselbegriff bereits in einer Begriffsebene des Baumes erscheint, so wird diese Ebene zum aktuellen Element im Fokus und dementsprechend das Blättchen des neuen Schlüsselbegriffs in den Vordergrund rotiert. Für den Fall, daß der Schlüsselbegriff noch in keiner Begriffsebene des Baumes auftaucht, wird an alle Dokumentenblättchen, deren Dokumente den Begriff enthalten, ein "Explorationskonus" als Markierung angefügt. Der Benutzer wird so in der Auswahl des zu expandierenden Dokuments unterstützt. Wenn er ein mit einem Explorationskonus gekennzeichnetes Dokumentenblättchen expandiert, so wird in der dadurch neu in den Baum eingefügten Termebene der eingegebene Schlüsselbegriff automatisch zum aktuellen Element im Fokus und dieses wird erneut expandiert. Abbildung 40 zeigt den Kontextbaum nach Exploration der Begriffe "solar", "house", "heat" und "photovoltaic".

Wenn Begriffe oder Dokumente, die bereits in Ebenen des aktuellen Baumes existieren, auch in eine neu expandierte Ebene aufgenommen werden müssen, so haben die betreffenden Visualisierungsblättchen der neuen Ebene ein etwas anderes Erscheinungsbild. Die Blättchen sind kleiner und ihre Farbe ist heller als die der normalen Einträge, es handelt sich um sogenannte "versteckte Pfade", also Platzhalterblättchen. Wenn Benutzer eine solche Wiederholung eines Dokuments oder eines Begriffs expandieren möchten, so wird an der Stelle im Baum expandiert an der das Element zum erstenmal eingefügt wurde.

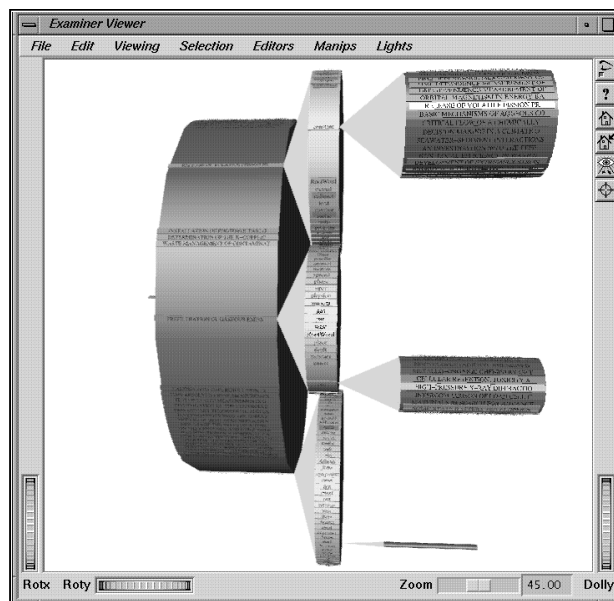


Abbildung 40: Mehrfach expandierter Kontextbaum

Durch den visuell direktmanipulativen Explorationsdialog im Kontextbaum definieren die Benutzer eine Menge von für ihr Interesse relevanten Anfragetermen, die als Referenzpunkte in die Relevanzkugelvisualisierung übernommen werden können. In unserem Beispielfall sind dies die Begriffe "solar", "house", "heat" und "photovoltaic". Durch Aktivierung des Icons der Relevanzkugel wird diese gestartet. Der Kontextbaum wird deaktiviert und steht wieder in ikonifizierter Form zur Verfügung. Abbildung 41 zeigt die Relevanzkugel zum Kontextbaum aus Abbildung 40 nach der Aktivierung.

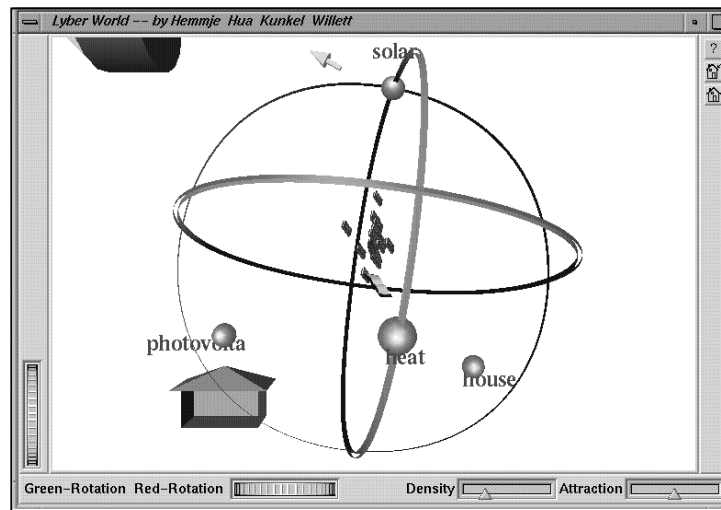


Abbildung 41: Relevanzkugel in der Ausgangssituation

Die Anfrageterme, also quasi die Wurzelterme des Suchpfades im Kontextbaum, definieren die vier Referenzpunkte, die als kleine Kugeln auf der Oberfläche der Relevanzkugel visualisiert werden. Im Inneren der Kugel sind die Dokumente, die im vorliegenden Beispiel durch kleine Buchsymbole dargestellt werden, positioniert. In der dargestellten Ausgangssituation sind alle Referenzpunkte gleichmäßig auf der Oberfläche der Relevanzkugel verteilt. Die Benutzer haben nun die Möglichkeit, die im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Interaktionen auszuführen und so die dargestellten Dokumentensymbole innerhalb des Relevanzkugelraumes in getrennte räumliche Segmente zu gruppieren. Um die Referenzpunkte auf der Kugeloberfläche zu positionieren, wird mit der Maus eines der Referenzpunktsymbole ausgewählt und aktualisiert. Das jeweils aktuelle Referenzpunktsymbol kann nun mit Hilfe der Maus, des Spaceballs oder der Rotationsregler am unteren linken Fensterrand bewegt werden.

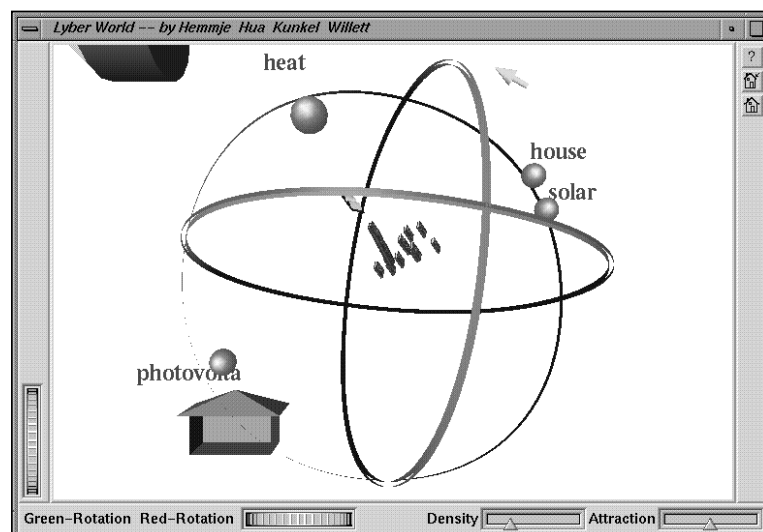
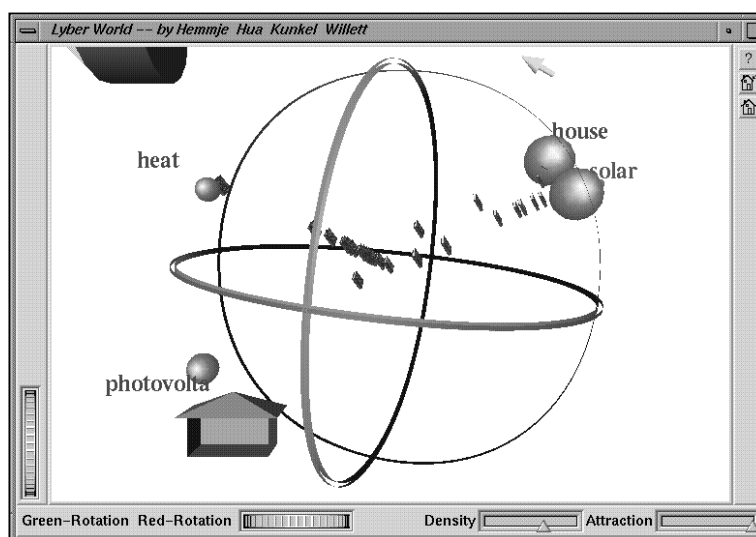


Abbildung 42: Visuelle Segmentierung in der Relevanzkugel

Abbildung 42 zeigt die gleiche Relevanzkugel, nachdem die Referenzpunkte, die durch die Begriffe *solar* und *house* definiert sind, interaktiv auf die rechte Seite der Kugel bewegt wurden. Man sieht, daß die betreffenden Dokumentene der Referenzpunktbewegung gefolgt sind. Auch die Veränderung der Relevanz, oder in der Begrifflichkeit der Visualisierungsmetapher, der "Anziehungskraft" einzelner Referenzpunkte wirkt auf das jeweils aktuelle Referenzpunkt. Mit dem "Attraction"-Regler am rechten unteren Fensterrand können die Benutzer die Anziehungskraft eines Referenzpunktes variieren. Mit dem neben dem "Attraction"-Schieberegler positionierten "Density"-Regler kann die visuelle Dichte der Darstellung verändert werden. Durch eine solche Einstellung der Kugeldichte ist es den Benutzern z.B. möglich, im vorliegenden Beispiel die Dokumente weiter vom Kugelmittelpunkt zu entfernen. Wenn keiner der Referenzpunkte angewählt ist (dieses wäre anhand eines "High Lighting" zu erkennen), dann können die Benutzer z.B. mit dem Spaceball oder einem der virtuellen Rotationsregler die gesamte Kugel frei rotieren. Er kann sich so besser mit den räumlichen Verteilung der Elemente der dargestellten Dokumentmenge vertraut machen.

In Abbildung 43 ist dieses Segment bereits weiter bearbeitet worden, indem die Anziehungskraft der beiden begrenzenden Referenzpunkte erhöht und die visuelle Dichte der gesamten Relevanzkugel bereits herabgesetzt wurde, um die Dokumente im "*house&solar*"-Segment besser voneinander unterscheiden und bezüglich ihrer Position evaluieren zu können.

**Abbildung 43: Relevanzkugel nach Manipulation der visuellen Dichte**

Im Idealfall enthält das so gebildete Segment alle Dokumente, die für den Kern des Informationsinteresses der Benutzer relevant sind. Die Benutzer können sich nun, um sich mit den detaillierten Inhalten der Dokumente dieses Segments zu inspizieren, eines sogenannten „Inspektions-“, oder „Leseraumes“ bedienen. Abbildung 44 stellt diese Situation dar.

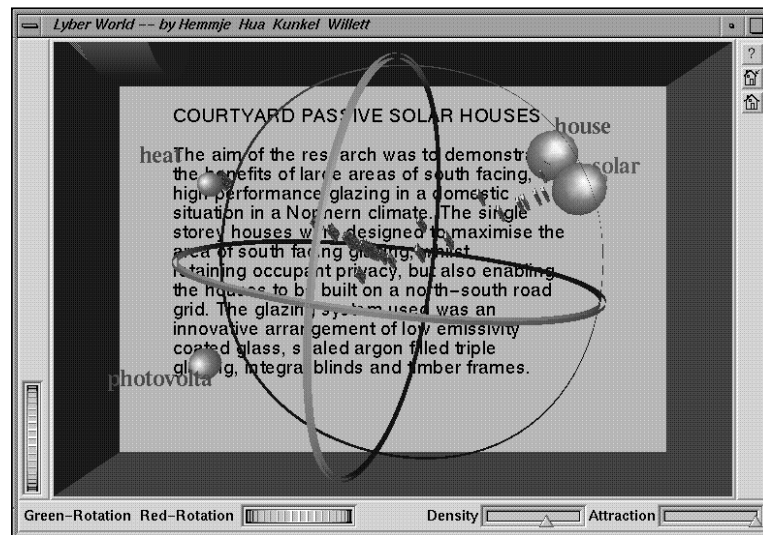


Abbildung 44: Relevanzkugel und geöffneter Inspektionsraum

Auf der Grundlage dieser Anwendung des prototypischen LyberWorld-Systems werden im folgenden Bewertungen der beiden Visualisierungskomponenten, die zur Realisierung der Kontextbaumvisualisierung und der Relevanzkugelvisualisierung eingesetzt wurden, vorgenommen.

6.2 Bewertung und Redesign der Kontextbaumvisualisierung

Das Kontextbaumvisualisierungsmodell unterstützt die Exploration eines Kontextraumes sowie die Navigation, die Bewertung und die Dialogverwaltung auf den Elementen und Strukturen dieses Informationsraumes. Wie formale Experimente mit naiven Endbenutzern [Stürmer et al. 96] gezeigt haben, wird die Visualisierung und interaktive Handhabung der Explorations- und Navigationsfunktionen von den Benutzern sehr leicht verstanden und erlernt. Hinderlich sind jedoch in den anfangs verwendeten Versionen der Visualisierungskomponente die fehlende Spiralisierungsfunktion und automatische Kamerasteuerung, da aufgrund der unterschiedlichen Größen der Ergebnismengen und der daraus resultierenden stark unterschiedlichen Radien der Unterbäume eine hohe Anzahl von organisatorischen Interaktionen zur Kontrolle des gewählten Bildausschnittes und

Vergrößerungsfaktors auf den Kontextbaum notwendig werden. Weiterhin wirkt sich die indirekte Interaktion mit dem Kontextbaum über virtuelle Dreh- und Schieberegler des Fenstersystems negativ auf die Softwareergonomie des Visualisierungswerkzeuges aus.

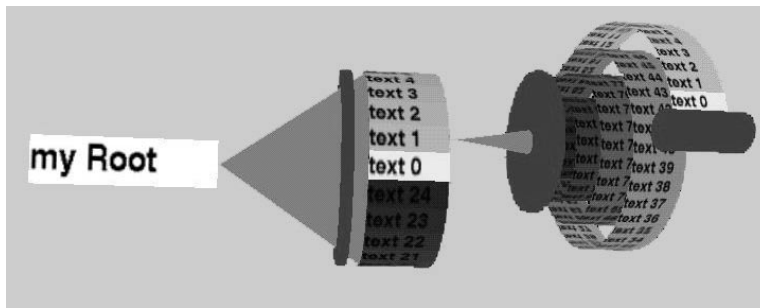


Abbildung 45: Redesign der Kontextbaumvisualisierung

Innerhalb eines Redesigns wurden daraufhin zuerst eine automatische Kamerasteuerung in den Layoutalgorithmus integriert (siehe [Klement & Hemmje 97]) und nachfolgend eine direktmanipulative Steuerung sowie eine dynamische Spiralisierungsfunktion hinzugefügt (siehe Abbildung 45 [Veit & Hemmje 97]).

6.3 Bewertung und Redesign der Relevanzkugelvisualisierung

Die Relevanzkugelvisualisierung unterstützt die Relevanzbewertung, sowie die generelle Verwaltung, die inhaltliche Segmentierung und Partitionierung des Ergebnisraumes. Die Handhabung des Visualisierungswerkzeuges ist aufgrund der verwendeten Anziehungskraftmetapher leicht zu erlernen.

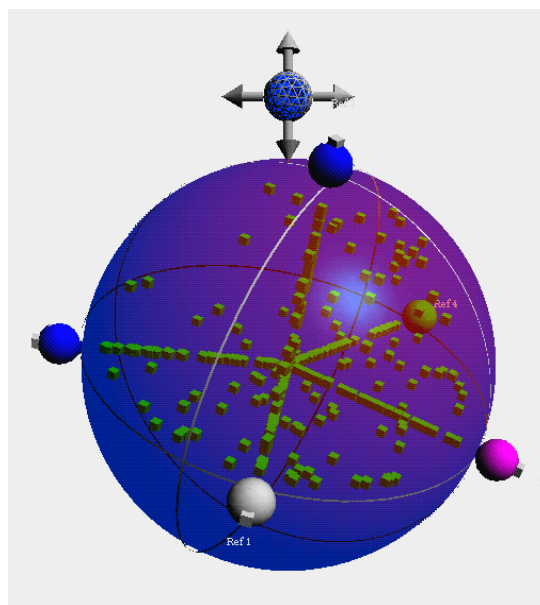


Abbildung 46: Redesign der Relevanzkugelvisualisierung

Bezüglich der Anwendbarkeit der frühen Versionen des Relevanzkugelvisualisierungswerkzeuges hat sich jedoch innerhalb von informellen Experimenten mit naiven Benutzern insbesondere innerhalb der prototypischen Anwendung LyberWord2Vodak [Schweikert & Hemmje 96] gezeigt, daß die interaktive Steuerung der Relevanzkugel hinsichtlich ihrer Rotationsposition und der Referenzpunkte hinsichtlich der Position auf der Oberfläche der Relevanzkugel unbedingt direktmanipulativ zu unterstützen ist. Weiterhin zeigte sich, daß die Referenzpunkte nach Möglichkeit typisierbar sein sollten und daß die Realisierung der Relevanzkugel mit wachsenden Ergebnisräumen im Bezug auf die Performanz der gewählten Layout- und Renderingmethode nicht ausreichend skaliert. Diese Ergänzungen und Verbesserungen wurden innerhalb eines Redesigns in den Arbeiten [Heilmann 96] und [Leissler & Hemmje 97] realisiert (siehe Abbildung 46).

6.4 Offene Punkte und Ausblick

Evaluationsverfahren zur formalen Evaluation von integrierten Anwendungen mehrerer Informationsvisualisierungskomponenten innerhalb einer Benutzungsschnittstelle zu einem Informationssystem sind nach wie vor Gegenstand der Forschung. Erste Diskussionen zu diesem Thema fanden unter anderem im Rahmen von [Rorvig & Hemmje 96] statt. Erste Ergebnisse dieser Arbeit haben sich danach auch in [Rorvig & Hemmje 98] niedergeschlagen. Insgesamt muß man allerdings an dieser Stelle einräumen, daß es für eine Anwendung dieser Verfahren nach wie vor keine ausreichend gesicherte Grundlage hinsichtlich der Validität der erzielbaren Ergebnisse gibt, so daß wir im Rahmen dieser Arbeit von einer formalen Evaluation mit Hilfe von Benutzungsexperimenten zu einer integrierten Anwendungslösung auf der Basis von interaktiven Informationsvisualisierungskomponenten innerhalb einer Benutzungsschnittstelle zu einem Informationssystemen abgesehen haben.

Anhang A: Literaturverzeichnis

[Agosti et al. 91]

Agosti, M.; Gradenigo, G.; Marchetti, P.G. (1991) *Architecture and Functions for a Conceptual Interface to Very Large Online Bibliographic Collections*. Proc. RIAO '91 - "Intelligent Text and Image Handling", Barcelona, April 2-9, 1991; pp. 1-24

[Ashford & Willett 88]

Ashford, J., Willett, P. (1988), *Text Retrieval and Document Databases*. Studentlitteratur: Lund, Sweden, 1988

[Barraclough 77]

E. D. (1977), *On-Line Searching in Information Retrieval*. Journal of Documentation, Vol. 33, No. 3, September 1977; pp. 220-238

[Baudisch 97]

Baudisch, P. (1997), *Designing an Evolving Internet TV Program Guide*, Proceedings of the HCIC '97 workshop, Boaster, 19.-23.2.1997, Snow Mountain Ranch, CO., USA

[Belkin & Croft 92]

Belkin, N. J., Croft, W. B. (1992), *Information Filtering and Information Retrieval: Two Sides of the Same Coin*-. Communications of the ACM, Vol. 35, No.12, December 1992; pp. 29-38

[Belkin et al. 82a]

Belkin, N.J., Oddy, R.N., Brooks, M.M. (1982), *ASK for Information Retrieval. Part I. Background and Theory*. Journal of Documentation, Vol. 38, No.2, June 1982; pp. 61-71

[Belkin et al. 82b]

Belkin, N.J., Oddy, R.N., Brooks, M.M. (1982), *ASK for Information Retrieval. Part II. Results of a Design Study*. Journal of Documentation, Vol. 38, No.2, June 1982; pp. 145-164

[Belkin et al. 94]

Belkin, N. J., Cool, C., Stein, A., Thiel, U. (1994), *Cases, Scripts, and Information-Seeking Strategies: On the Design of Interactive Information Retrieval Systems*. Arbeitspapiere der GMD, Nummer 875, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH: St. Augustin, November 1994

[Belkin & Vickery 85]

Belkin, N. J., Vickery, A. (1985), *Interaction in Information Systems. A Review of Research from Document Retrieval to Knowledge-Based Systems*. Library and Information Research Report 35, British Library: Cambridge, UK, 1985

[Belkin & Croft 87]

Belkin, N.J., Croft, W. Bruce (1987), *Retrieval Techniques*. In: Williams, M. E. (Ed.): Annual Review of Information Science and Technology (ARIST), Vol. 22, 1987, Elsevier Science Publishers: Amsterdam et al., 1987; pp. 109-146

[Benedikt 91]

- Benedikt, M. (1991), *Cyberspace: Some Proposals*. In: Benedikt, M. (eds.): *Cyberspace: First Steps*, Cambridge, Massachusetts 1991, S. 119-224.
- [Benford & Mariani 94]
Benford, S., Mariani, J. (1994), *Virtual Environments for Data Sharing and Visualisation - Populated Information Terrains*. In: Sawyer, P. (eds.): *Interfaces to Database Systems*, London 1994, S.167- 182.
- [Bertino & Lorenzo 93]
Bertino, E., Lorenzo, M. (1993), *Object-Oriented Database Systems: Concepts and Architectures*. Addison-Wesley 1993
- [Booch 91]
Booch, G. (1991), *Object oriented Design with applications*. Benjamin/Cummings, 1991
- [Bookstein 78]
Bookstein, A. (1978), *On the Perils of Merging Boolean and Weighted Retrieval*. *Journal of the American Society for Information Science*, May 1978, pp. 156-158
- [Bookstein 81]
Bookstein, A. (1981), *A Comparison of Two Weighting Schemes for Boolean Retrieval*. In: Oddy, R.N., Robertson, S.E., van Rijsbergen, C.J., Williams, P.W. (eds): *Information Retrieval Research*. Butterworths: London et al., 1981; pp. 23-34
- [Borgman 87]
Borgman, C. L. (1987), *Individual Differences in the Use of Information Retrieval Systems: Some Issues and Some Data*. *Proceedings of SIGIR '87, The Tenth Annual International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval*, June 3-5, 1987, New Orleans, Louisiana, USA; pp. 61-71
- [Bronstein 73]
Bronstein, Semendjajew (1973), *Taschenbuch der Mathematik*, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt/Main
- [Brookes 81]
Brookes, B.C. (1981) *Information Technology and the Science of Information*. In: Oddy, R.N., Robertson, S.E., van Rijsbergen, C.J., Williams, P.W.: *Information Retrieval Research*. Butterworths: London et al., 1981, pp. 1-8
- [Brooks 83]
Brooks, H. M. (1983), *Information Retrieval and Expert Systems - Approaches and Methods in Development*. In: K. P. Jones (Ed.): *Intelligent Information Retrieval. Informatics 7. Proceedings of a Conference held by the Aslib Informatics Group and the Information Retrieval Group of the British Computer Society*, Cambridge, UK, March 22 - 23, 1983; pp. 65-75
- [Brown 94]
Brown, E. W. (1994), *An Approach for Improving Execution Performance in Inference Network Based Information Retrieval*. Technical Report 94-73, Dept. of Computer Science, University of Massachusetts: Amherst, MA, USA, September 1994

[Brunak & Lautrup 93]

Brunak, S., Lautrup, B. (1993), *Neuronale Netze: Die nächste Computergeneration*. Hanser: München und Wien, 1993

[Bruza 90]

Bruza, P. D. (1990), *Hyperindices: A Novel Aid for Searching in Hypermedia*. In: Rizk, A.; Streitz, N.; André, J.: *Hypertext: Concepts, Systems and Applications*. Proceedings of the First European Conference on Hypertext, INRIA, France, Nov. 1990, University Press: Cambridge 1990; pp. 109 - 122

[Buchmann 93]

Buchmann, W. (1993), Vorlesungsskript Datenbanksysteme, TH-Darmstadt, 1996

[Callan et al. 92]

Callan, J. P., Croft, W. B., Harding, S. M. (1992), *The INQUERY Retrieval System*. Proceedings of the Third International Conference on Database and Expert Systems, September 1992

[Callan et al. 94]

Callan, J. P., Croft, W. B., Broglio, J. (1994), *TREC and TIPSTER Experiments with INQUERY*. July 8, 1994 in: *Information Processing and Management*, (<http://ciir.cs.umass.edu/info/ciirbiblio.html>)

[Canter et al. 85]

Canter, D., Rivers, R., Storrs, G. (1985), *Characterizing User Navigation Through Complex Data Structures*; *Behaviour and Information Technology*, 4 (2), 1985; pp. 93-102

[Card 89]

Card, S. K. (1989), *Information Workspaces*. In: *Friend 21 Conference*, Tokyo, September 1989, 1989; pp. 1-9

[Card et al. 91]

Card, S. K., Robertson, G. G., Mackinlay, J.D. (1991), *The Information Visualizer. An Information Workspace*. In: *Proceedings of CHI '91 Conference on Human Computer Interaction*, New Orleans, Louisiana, April 28 - May 2, 1991, ACM Press: New York, 1991; pp. 181-188

[Card 95]

Card, S.K., (1995), *Information Foraging in Information Access Environments*. Proceedings of CHI '95 Conference on Human Computer Interaction, Denver, Colorado, May 7 - 11, 1995, ACM Press: New York, 1995; pp. 51-58

[Chen 76]

Chen, P.P. (1976), *The Entity-Relationship-Model, Towards a Unified View of Data*. In: *ACM Transactions on Database Systems*. März 1976

[Chalmers & Chitson 92]

Chalmers, M., Chitson, B. (1992), *Bead: Explorations in Information Visualization*. In: *Proc. SIGIR '92*, published as a special issue of *SIGIR Forum*, ACM Press, pp. 330-337, June 1992.

[Chalmers 93]

- Chalmers, M. (1993)
Visualization of Complex Information. Proceedings of the East-West-HCI Conference on Human Computer Interaction, Moscow, August 1993; pp. 152-163
- [Chalmers 94]
Chalmers, M. (1994), *Design Perspectives in Visualising Complex Information*. In Böcker, H.-D., Hemmje, M. (eds.): Arbeitspapiere der GMD Nr. 909, April 1995 Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung, Sankt Augustin, April 1995, ; pp. 32-38
- [Clarkson 93]
Clarkson, M. A. (1993), *Informationstheater*. c't, Heft 2, 1993; pp. 50-55
- [Coad & Yourdon 90]
Coad, P., Yourdon, E. (1990), *Object-Oriented Analysis*, Prentice-Hall, 1990
- [Cooper 73a]
Cooper, W. S. (1973), *Selecting a Measure of Retrieval Effectiveness. Part I.: The "Subjective" Philosophy of Evaluation*. Journal of the American Society for Information Science, March/April 1973; pp. 87-100
- [Cooper 71a]
Cooper, W.S. (1971), *A Definition of Relevance for Information Retrieval*. Information Storage and Retrieval, Vol. 7, 1971; pp.19-37
- [Cooper 73b]
Cooper, W. S. (1973), *Selecting a Measure of Retrieval Effectiveness. Part II. : Implementation of the Philosophy*. Journal of the American Society for Information Science, November/December 1973; pp. 413-424
- [Croft et al. 85]
Croft, W.B., Wolf, R., Thompson, R. (1985), *A network Organization Used for Document Retrieval*. ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, SIGIR Forum, Vol. 17, No.4; 1985; pp. 178-188
- [Croft & Parenty 85]
Croft, W. B., Parenty, Th. J. (1985), *Comparison of a Network Structure and a Database System Used for Document Retrieval*. Information Systems, Vol. 10, No.4, 1985; pp. 377-390
- [Croft et al. 90]
Croft, W.B., Belkin, N., Bruandet, M.-F., Kuhlen, R., Oren, T., (1990), *Hypertext and Information Retrieval: What are the Fundamental Concepts-* In: Rizk, A.; Streitz, N.; André, J. Eds.: *Hypertext: Concepts, Systems and Applications*. Proceedings of the First European Conference on Hypertext, INRIA, France, Nov. 1990, University Press; Cambridge, 1990; pp. 362-366
- [Crouch 86]
Crouch, D. B. (1986), *The Visual Display Of Information In An Information Retrieval Environment*. Proceedings of SIGIR '86, The International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, 1986; pp. 58-67
- [Doszkocz 82]

- Doszkocz, T. E. (1982), *From Research to Application: The CITE Natural Language Retrieval System*. Research and Development in Information Retrieval, Proceedings, Berlin, May 18-20, 1982; In: Goos, G.; Harmanis J.: Lecture Notes in Computer Science 146, Springer: Berlin et al., 1982; pp. 251-260
- [Duden 88]
Engesser, H. (Hrsg.), Claus, V. [Bearb.] (1988), *Duden Informatik*, Dudenverlag 1988
- [Fuhr 91]
Fuhr, N. (1991), *Information Retrieval*. Skriptum zur Vorlesung im WS 91/92. TH Darmstadt, 1991
- [Geuppert 96]
Geuppert, Kerstin (1996), *Entwurf und Implementierung einer visuellen Benutzerschnittstelle für das relationalen Datenbanksystem ADABAS-D auf der Basis des LyberWorld-Informationsvisualisierungs-Toolkits*. Fachhochschule Darmstadt, 1996
- [Godin et al. 89]
Godin, R., Gecsei, J., Pichet, C. (1989), *Design of a Browsing Interface for Information Retrieval*. Proceedings of SIGIR '89, The Twelfth Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Cambridge, Massachusetts, USA, June 25-28, 1989; pp. 32-37
- [Hemmje et al. 92]
Hemmje, M., Böcker, H.-D., Thiel, U. (1992), *Expeditionen in Informationsräume: Zur Konzeption eines graphischen Informationssystems auf der Basis dreidimensionaler Visualisierungen*. in: Zimmermann H. H.; Luckhardt H. D.; Schulz A. (Eds.): ISI '92. Proceedings of the 3rd International Symposium for Information Science: Saarbücken, November 92, Universitätsverlag: Konstanz, 1992; pp. 94-101
- [Hemmje 93]
Hemmje, M. (1993), *Towards Agent - Based Modelling of Time and Dynamic Behaviour of Graphical Objects within Virtual Scenes*. In: Goebel, M. (ed): Proceedings of 1st Eurographics Workshop on Virtual Reality, Barcelona, Spain, September 7, 1993.
- [Hemmje & Strohmer 94]
Hemmje, M., Strohmer, P. (1994), *Agentenbasierte Modellierung der Zeit und des dynamischen Verhaltens graphischer Objekte in einer Virtuellen Szene*. In: GMD-Studien Nr. 229, April 1994, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung, Sankt Augustin
- [Hemmje et al. 94a]
Hemmje, M.; Kunkel, C.; Willett, A. (1994), *Eine graphische Benutzerschnittstelle für ein Volltext-Retrieval-System auf der Basis interaktiver dreidimensionaler Visualisierung*. GMD-Studie Nr. 232, Sankt Augustin: Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH, Juni 1994
- [Hemmje et al. 94b]

- Hemmje, M., Kunkel, C., Willett, A. (1994), *LyberWorld - A Visualization User Interface Supporting Fulltext Retrieval*. Proceedings of SIGIR '94, The Seventeenth International Annual ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Dublin, July 3 - 6, 1994; pp. 249-259
- [Hemmje 95]
Hemmje, M. (1995), *LyberWorld - A 3D Graphical User Interface for Fulltext Retrieval*. In: Proceedings of ACM SIGCHI '95, Video Summaries, Mai 1995
- [Hemmje et al. 96]
Hemmje, M., Stein, A., Böcker, H.-D. (1996), *A multidimensional Categorization of Information Activities for Differential Design and Evaluation of Information Systems*. In: Arbeitspapiere der GMD Nr. 1036, Dezember 1996
GMD - Forschungszentrum Informationstechnik, Sankt Augustin
- [Henderson & Card 86]
Henderson jr., D. A., Card, St. K. (1986), *Rooms: The Use of Multiple Virtual Workspaces to Reduce Space Contention in a Window-Based Graphical User Interface*. ACM Transactions on Graphics, Vol. 5, No. 3, July 1986; pp. 211-243
- [Hewitt & Baker 77]
Hewitt, C., Baker jr., H. (1977), *Actors and Continuous Functionals*. Laboratory for Computer Science. Massachusetts Institute of Technology, December 1977
- [Ingram 97]
Rob Ingram (1997) *Improving the Legibility of Abstract Spaces*. University of Nottingham, Communications research Group.
<http://www.crg.cs.nott.ac.uk/research/technologies/visualisation/leads/>
- [Ingwersen 92]
Ingwersen, P. (1992), *Information Retrieval Interaction*. Taylor Graham, London, 1992
- [Ingwersen 94]
Ingwersen, P. (1994), *Polyrepresentation of Information Needs and Semantic Entities*. Proceedings of SIGIR '94, The 17th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Dublin, Ireland, 3-6 July, 1993; pp. 101-110
- [IPSI 95]
Institut für Integrierte Publikations- und Informationssysteme (1995)
VODAK V4.0 User Manual, GMD 1995
- [Illustra 95]
Illustra Information Technologies (1996), *Informix Illustra, Application Programming Interface Guide*, Release 3.2, Oakland, 1995
- [Kim 95]
Kim, won (Ed.) (1995), *Modern DataBase Systems: The Object Model, Interoperability, and Beyond*. Addison Wesley, 1995
- [Klement & Hemmje 97]

- Klement, T., Hemmje, M. (1997)
Eine konfigurierbare, constraint-basierte Kamerasteuerung für 3D Visualisierungswerkzeuge. to appear in: GMD-Studien, Sankt Augustin: Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH, 1997
- [Korfhage 91]
Korfhage, R. R. (1991), *To see or not to see: Is that the query-* In: Proceedings of SIGIR '91, The Fourteenth Annual International ACM-SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Chicago Ill., USA, Oct. 13 - 16, 1991; pp. 134-141
- [Kracker 92]
Kracker, M. (1992), *A Fuzzy Concept Network Model and its Applications.* In: Proc. of the FUZZ-IEEE '92, San Diego, March 1992, pp. 760-768.
- [Kuhlthau 91]
Kuhlthau, C. C. (1991), *Inside the Search Process: Information Seeking from the User's Perspective.* Journal of the American Society for Information Science, 42 (5), 1991; pp. 361-371
- [Kurzweil 93]
Kurzweil, Raymond (1993), *Das Zeitalter der künstlichen Intelligenz.* Hanser: München und Wien, 1993
- [Lancaster 68]
Lancaster, F.W. (1968), *Interaction Between Requesters and a Large Mechanized Retrieval System.* Information Storage and Retrieval, Vol. 4, 1968; pp.239-252,
- [Lancaster 79]
Lancaster, F. Wilfrid (1979), *Information Retrieval Systems: Characteristics, Testing and Evaluation* (2nd edition). John Wiley & Sons: New York et al., 1979
- [Larkin & Simon 87]
Larkin, J.H., Simon, H.A. (1987), *Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words*, Cognitive Science 11, 1987
- [Laurel 90]
Laurel, B. (1990), *The Art of Human-Computer Interface Design.* Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, USA, 1990
- [Laurel 92]
Laurel, B. (1986), *Computers as Theater.* Addison-Wesley, Menlo Park, California, USA 1991
- [Leissler & Hemmje 97]
Leissler, M., Hemmje, M. (1997), *Portierung und Erweiterung der Relevanzkugelmetapher des LyberWorld-Werkzeuges um interaktive Informationsvisualisierungsmechanismen.* In: GMD-Studien Nr. 321, September 1997, GMD - Forschungszentrum Informationstechnik, Sankt Augustin
- [Mackinlay et al. 91]
Mackinlay, J. D., Robertson, G. G., Card, St. K. (1991), *The Perspective Wall: Dateil, and Context Smoothly Integrated.* Proceedings CHI '91 Conference on

- Human Factors in Computer Systems, ACM Press :New York, 1991; pp. 179-180
- [Mackinlay et al. 95]
Mackinlay, J. D., Rao, R., Card, St. K. (1995), *An Organic User Interface for Searching Citation Links*. Proceedings of SIGCHI '95, Conference on Human Factors in Computing Systems, Denver, Colorado, USA, May 7-11, 1995, ACM Press: New York; pp. 67-73;
- [Maron 82]
Maron, M.E. (1982), *Probabilistic Approaches to the Document Retrieval Problem*. Research and Development in Information Retrieval, Proceedings, Berlin, May 18-20, 1982; in: Goos, G.; Harmanis J.: Lecture Notes in Computer Science 146, Springer: Berlin et al., 1982; pp. 98-107
- [Massari, Saladini & Hemmje 96]
Massari, A., Saladini, L., Hemmje, M. (1996), *Architecture and System Specification of VIRGILIO*. In: Arbeitspapiere der GMD NR. 991, GMD - Forschungszentrum Informationstechnik, Sankt Augustin, Mai 1996
- [Massari, Saladini, Hemmje & Sisinni 97]
Massari, A., Saladini, L., Hemmje, M., Sisinni, F. (1997) ,*Virgilio: A Non-Immersive VR System To Browse Multimedia Databases*. In: Proc. of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems 1997, Ottawa, Canada.
- [Maron & Kuhns 60]
Maron, M.E., Kuhns (1960), *On relevance, probabilistic indexing and information retrieval*. Journal of the Association for Computing Machinery, 7 (3), July 1960, pp.216-244.
- [Meghabghab 94]
Meghabghab, G. V., Meghabghab, D. B. (1994), *INN: An Intelligent Neural Network for Information Systems: A Design Model*. Information Processing & Management, Vol. 30, No.5, 1994; pp. 663-685
- [Morissey 82]
Morissey, J. (1982), *An Intelligent Terminal for Implementing Relevance Feedback on Large Operational Retrieval Systems*. Research and Development in Information Retrieval, Proceedings, Berlin, May 18-20, 1982; in: Goos, G.; Harmanis J.: Lecture Notes in Computer Science 146, Springer: Berlin et al., 1982, pp. 38-50
- [Müller 96]
Müller, A. (1996), *Abductive Retrieval of Structured Documents*. Accepted for publication in the PODP '94 Special Issue of Computer and Mathematical Modelling, 1996.
- [Müller & Thiel 95]
Müller, A. & Thiel, U. (1995), The MIRACLE System: Using Abductive Inference and Dynamic Indexing to Retrieve Multimedia SGML Documents. (System demonstration abstract)
In: Fox, E.A., Ingwersen, P. & Fidel, R. (eds.): Proceedings of the 18th Annual Intern. Conference on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR '95), Seattle, WA, 1995. New York: ACM Press, 1995, p. 365.

[Noreault et al. 81]

Noreault, T., McGill, M., Koll, M. B. (1981), *A Performance Evaluation of Similarity Measures, Document Term Weighting Schemes and Representations in a Boolean Environment*. In: Oddy, R.N.; Robertson, S.E.; van Rijsbergen, C.J.; Williams, P.W.: Information Retrieval Research. Butterworths: London et al., 1981; pp. 56-76

[Norman 86]

Norman, D.A. (1986), *Cognitive Engineering*. In: Norman, D.A., Draper, St. W. (eds): User Centered System Design. New Perspectives on Human-Computer Interaction. Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ, USA, 1986; pp. 31-62

[Olsen et al. 91]

Olsen, K.A., Korfhage, R.R., Sochats, K.M., Spring, M.B., Williams, J.G. (1991), *Visualization of a Document Collection: The VIBE System*. Report LIS033/IS91001, School of Library and Information Science, University of Pittsburgh, 1991

[Palay & Fox 81]

Palay, A. J., Fox, M. S. (1981), *Browsing through Databases*. In: Oddy, R.N.; Robertson, S.E.; van Rijsbergen, C.J.; Williams, P.W.: Information Retrieval Research. Butterworths: London et al., 1981; pp 310-324

[Patel & Sutcliffe 93]

Patel, U.K., Sutcliffe, A.G. (1993), *Three-Dimensional Visualisation of Knowledge Structures: Prototyping for Design Evaluation*. Proc. of the East-West-HCI Conference on Human Computer Interaction, Moscow, August 1993; pp. 163-180

[Pederson 97]

Pederson, T. (1997), *"A Cup of Tea & a Piece of Cake - Integration of Virtual Information Workspaces, Inspired by the Way We May Think"*, MSc thesis, Ericsson Media Lab & Umeå University, Sweden. Umeå University report no: UMNAD-182.97.
<http://www.ericsson.se/medialab/Projects/cupoftea/cupoftea.html>

[Puppe 88]

Puppe, F. (1988), *Einführung in Expertensysteme*, Springer-Verlag: Berlin et al., 1988

[Raghavan et al. 89]

Raghavan, V. V., Bollmann, P., Jung, G. S. (1989), *Retrieval System Evaluation Using Recall and Precision: Problems and Answers*. Proceedings of SIGIR '89, The Twelfth Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Cambridge, Massachusetts, USA, June 25-28, 1989; pp. 59-68

[Reimer 91]

Reimer, U. (1991), *Einführung in die Wissensrepräsentation*. Teubner: Stuttgart, 1991

[Riehm et al. 89]

Riehm, U., Böhle, K., Wingert, B., Gabel-Becker, I., Loeben, M. (1989), *Endnutzer und Volltextdatenbanken*. Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1989

-
- [Robertson 81]
Robertson, S. E. (1981), *The Methodology of Information Retrieval Experiment*. In: Sparck Jones, K.: *Information Retrieval Experiment*. Butterworths: London et al., 1981; pp. 9-31
- [Robertson et al. 91]
Robertson, G.G., Mackinlay, J.D., Card, S.K. (1991), *Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Information* In: SIGCHI '91 Conference Proceedings, ACM press, 1991; pp 189-194
- [Robertson & Hancock-Beaulieu 92]
Robertson, S.E., Hancock-Beaulieu, M.M. (1992), *On the Evaluation of IR Systems*. *Information Processing & Management*, Vol. 28, No. 4, 1992, pp. 457-466
- [Rojas 93]
Rojas, R. (1993), *Theorie der neuronalen Netze*. Eine systematische Einführung. Springer: Berlin et al., 1993
- [Rorvig & Hemmje 96]
Rorvig, M., Hemmje, M. (1996), *Foundations of Advanced Information Visualization for Visual Information (Retrieval) Systems*. In: ACM SIGIR '96, Zurich, Switzerland, 1996
- [Rorvig & Hemmje 98]
Rorvig, M., Hemmje, M. (1998), *Foundations of Advanced Information Visualization for Visual Information (Retrieval) Systems*. In: *Perspectives on Visual Information Retrieval Interfaces*. Journal of the American Society for Information Science, 1998
- [Rudolph & Hemmje 94]
Rudolph, S., Hemmje, M. (1994), *Visualisierung von Thesauri zur interaktiven Unterstützung von visuellen Anfragen an Textdatenbanken*. In: GMD-Studien Nr. 247, Juni 1994, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung, Sankt Augustin, 1994
- [Salton 92]
Salton, G. (1992), *The State of Retrieval System Evaluation*. *Information Processing & Management*, Vol. 28, No. 4, 1992; pp. 441-449
- [Salton & Buckley 88a]
Salton, G., Buckley, Ch. (1988), *Improving Retrieval Performance by Relevance Feedback*. Technical Report 88-898, Department of Computer Science, Cornell University, NY, February 1988
- [Salton & Buckley, 88b]
Salton, G., Buckley, Ch. (1988), *Term-Weighting Approaches in Automatic Text Retrieval*. *Information Processing & Management*, Vol. 24, No.5, 1988;pp. 513-523
- [Salton & McGill 83]
Salton, G., McGill, M. J. (1983), *Introduction to Modern Information Retrieval*, McGraw-Hill: New York, 1983
- [Salton & Wu 81]

- Salton, G., Wu, H. (1981), *A Term Weighting Model Based on Utility Theory*. In: Oddy, R.N.; Robertson, S.E.; van Rijsbergen, C.J.; Williams, P.W.: Information Retrieval Research. Butterworths: London et al., 1981; pp. 9-22
- [Salton 87]
Salton, G. (1987), *Expert Systems and Information Retrieval*. SIGIR Forum, 21 (3-4), 1987; pp. 3-9
- [Salton88]
Salton, G. (1988), *Automatic Text Processing, The Transformation, Analysis and Retrieval of Information by Computer*, Addison Wesley, 1988
- [Saracevic 75]
Saracevic, T. (1975), *RELEVANCE: A Review of and a Framework for the Thinking on the Notion in Information Science*. Journal of the American Society for Information Science, Nov-Dec 1975; pp. 321-343
- [Saracevic et al. 88]
Saracevic, T., Kantor, P., Chamis, A. Y., Trivison, D. (1988), *A Study of Information Seeking and Retrieving. I. Background and Methodology*. Journal of the American Society for Information Science. 39 (3), 1988; pp. 161-176
- [Schank et al. 81]
Schank, R. C., Kolodner, J. L., DeJong, G. (1981), *Conceptual Information Retrieval*. In: Oddy, R.N.; Robertson, S.E.; van Rijsbergen, C.J.; Williams, P.W.: Information Retrieval Research. Butterworths: London et al., 1981; pp. 94-116
- [Schamber et al. 90]
Schamber, L., Eisenberg, M. B., Nilan, M. S. (1990) *A Re-Examination of Relevance: Toward a Dynamic, Situational Definition*. Information Processing & Management, Vol. 26, No. 6, 1990; pp 755-776
- [Scholtes 91]
Scholtes, J.C. (1991), *Neural Nets and Their Relevance for Information Retrieval*. ITLI Prepublications for Computational Linguistics: Amsterdam, 1991
- [Schweikert & Hemmje 96]
Schweikert, T., Hemmje, M. (1996). *A Graphical User Interface to the Object-Oriented Database System VODAK on the Basis of the Generic Visualization Toolkit LyberWorld*. In Proceedings of Third International Workshop on User Interfaces to Database Systems (IDS '96), 8th-10th July, Edinburgh: Napier University Springer Verlag, 1996, <http://www.springer.co.uk/eWiC/Workshops/IDS3.html>
- [Shneiderman 78]
Shneiderman, B. (1978), *Improving the Human Factors Aspect of Database Interactions*. ACM Transactions on Database Systems, Vol. 3, No. 4, Dec 1978; pp. 417-439
- [Shneiderman 92]
Shneiderman, B. (1992), *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*, 2nd ed., Addison Wesley, 1992
- [Shneiderman et al. 92]

- Shneiderman, B., Williamson, Chr., and Ahlberg, Chr. (1992), *Dynamic Queries: DataBase Searching by Direct Manipulation*. In Proc. of Human Factors in Computing Systems, CHI '92, ACM Press, 1992, pp. 669-670
- [Shneiderman et al. 97]
Shneiderman, B., Byrd, D., Croft, W.B. (1997), *Clarifying Search - A User-Interface Framework for Text Searches*. in: D-Lib Magazine, January 1997, ISSN 1082-9873
- [Sitter & Stein 92]
Sitter, S., Stein, A. (1992) *Modeling the Illocutionary Aspects of Information-Seeking Dialogues*. Information Processing & Management, Vol. 28 (2), 1992, pp. 165-180.
- [Smith 82]
Smith, L. C. (1982) *Machine Intelligence vs. Machine-Aided Intelligence* in Information Retrieval: A Historical Perspective. Research and Development in Information Retrieval, Proceedings, Berlin, May 18-20, 1982; in: Goos, G.; Harmanis J.: Lecture Notes in Computer Science 146, Springer: Berlin et al., 1982; pp. 264-274
- [Smith 87]
Smith, L. C. (1987), *Artificial Intelligence and Information Retrieval*. In: Williams, M. E. (Ed.): Annual Review of Information Science and Technology (ARIST), Vol. 22, 1987, Elsevier Science Publishers: Amsterdam et al., 1987; pp. 41-108
- [Sloman 83]
Sloman, A. (1983), *An Overview of Some Unsolved Problems in Artificial Intelligence*. in: Jones, K. P. (Ed.): Intelligent Information Retrieval. Informatics 7. Proceedings of a Conference held by the Aslib Informatics Group and the Information Retrieval Group of the British Computer Society, Cambridge 22-23 March, 1983; pp. 3-14
- [Spaceball 91]
Spaceball Technologies Inc. 1991, *The Spaceball*
- [Sparck Jones 79]
Sparck Jones, K. (1979), *Experiments in Relevance Weighting of Search Terms*. Information Processing & Management, Vol. 15, 1979; pp. 133-144
- [Sparck Jones 83]
Sparck Jones, K. (1983) *Intelligent Retrieval*. in: Jones, K.P. (Ed.): Intelligent Information Retrieval. Informatics 7. Proceedings of a Conference held by the Aslib Informatics Group and the Information Retrieval Group of the British Computer Society, Cambridge 22-23 March, 1983; pp. 136-149.
- [Spoerri 93]
Spoerri, A. (1993), *InfoCrystal: A Visual Tool for Information Retrieval & Management*. To appear in: Proceedings of Information & Knowledge Management '93, Washington D.C.; Nov. 1-5, 1993,
- [Stürmer et al. 96]

- Stürmer, U., Bruhn, P., Hemmje, M. (1996)
Pretesting - A Necessary Step Towards Evaluating Interactive IR User Interfaces. In: Arbeitspapiere der GMD 1037, Sankt Augustin, December 1996
- [Tague 87]
Tague, J. (1987), Informativeness as an Ordinal Utility Function for Information Retrieval. SIGIR Forum, 21 (3-4), 1987; pp. 10-17
- [Tague & Schultz, 88]
Tague, J., Schultz, R (1988), *Some Measures and Procedures for Evaluation of the User Interface in an Information Retrieval System*. Proceedings of SIGIR '88, The Eleventh Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Grenoble-France, June 13-15, 1988; pp. 371-385
- [Tague & Schultz 89]
Tague, J., Schultz, R. (1989), *Evaluation of the User Interface in an Information Retrieval System: A Model*. Information Processing & Management, Vol. 25, No. 4, 1989; pp. 377-389
- [Tague-Sutcliffe 92a]
Tague-Sutcliffe, J. (1992), *Measuring the Informativeness of a Retrieval Process*: Proceedings of SIGIR '92, The Fifteenth Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Copenhagen, Denmark, June 21-24, 1992; pp. 23-36
- [Tague-Sutcliffe 92b]
Tague-Sutcliffe, J. (1992), *The Pragmatics of Information Retrieval Experimentation, Revisited*. Information Processing & Management, Vol. 28, No. 4, 1992; pp. 467-490
- [Thiel & Hammwöhner 87]
Thiel, U., Hammwöhner, R. (1987), *Informational Zooming: An Interaction Model for the Graphical Access to Text Knowledge Bases*. Proceedings of SIGIR '87, The Tenth Annual International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval, New Orleans, Louisiana, USA, June 3-5, 1987; pp. 45-56
- [Turtle & Croft 91a]
Turtle, H. R.; Croft, W. B. (1991), *Efficient Probabilistic Inference for Text Retrieval*. Proceedings Riao 3 '91 Conference (Recherche d'information assistée par Ordinateur), Barcelona, Spain, Apr. 2-5, 1991; pp. 644-661
- [Vallee & Askevold 73]
Vallee, J. F.; Askevold, G. L. (1973), *Information Organization for Interactive Use: Design Implications in Data-Base Systems*. Journal of the American Society for Information Science, July-August 1973; pp. 287-299
- [van Rijsbergen 79]
van Rijsbergen, C.J. (1979), *Information Retrieval* (2nd edition). Butterworths: London et al, 1979
- [Veit & Hemmje 97]
Veit, M., Hemmje, M. (1997)
Portierung des LyberWorld-Werkszeuges "Suchbaum" und Implementierung

einer generischen Demonstrationsanwendung. In: GMD-Studien Nr. 320, Mai 1997, GMD - Forschungszentrum Informationstechnik, Sankt Augustin

[Williams 71]

Williams jr., J.H.: *Functions of a Man-Machine Interactive Information Retrieval System.* Journal of the American Society for Information Science, September-October 1971; pp.311-317

Anhang B: Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Abbildung 1: GUIDO-Visualisierung mit zwei Referenzpunkten [Korfhage 91] | 32 |
| Abbildung 2: Ergebnispräsentation mit dem VIBE-System [Korfhage 91]..... | 34 |
| Abbildung 3: Vom Venn-Diagramm zum Info-Crystal [Spoerri 93]..... | 35 |
| Abbildung 4:Komplexes Info-Crystal [Spoerri 93]..... | 36 |
| Abbildung 5: Starfields [Shneiderman et al. 92] | 37 |
| Abbildung 6: Entwicklung von Tree-Maps nach [Shneiderman 92]..... | 39 |
| Abbildung 7: Rooms-Übersicht [Henderson & Card 86]..... | 40 |
| Abbildung 8: Cone-Trees im Information-Visualizer [Robertson et al. 91] | 42 |
| Abbildung 9: Perspective Wall im Information-Visualiser [Mackinlay et al. 91] | 43 |
| Abbildung 10: Bead-Übersichtsvisualisierung [Chalmers 94]..... | 44 |
| Abbildung 11: Bead-Detailvisualisierung, Landkartenmetapher [Chalmers 94] | 45 |
| Abbildung 12: QPIT Visualisierung unter LEADS [Ingram 97] | 47 |
| Abbildung 13: Butterfly-Visualisierung einer Literatursuche..... | 50 |
| Abbildung 14: Informationsmengen im Informationsdialog [Hemmje et al. 94a]..... | 66 |
| Abbildung 15: Struktur von Aktivitäten im Informationsdialog [Hemmje et al. 96]..... | 73 |
| Abbildung 16: Interaktiver Informationsvisualisierungszyklus | 85 |
| Abbildung 17: Beispiel einer Explorationsstruktur mit redundanten Knoten | 103 |
| Abbildung 18: Informationsvisualisierungsobjekte des Kontextkegelbaumes | 107 |
| Abbildung 19: Farb- und Größenkodierung von Knotenvisualisierungen | 108 |
| Abbildung 20: Parametrisierung und Orientierung von Ringen und Plättchen..... | 110 |
| Abbildung 21: Positionierung und Orientierung eines Explorationskegels | 111 |
| Abbildung 22: Aufbau und Orientierung eines Kontextkegelbaumes | 112 |
| Abbildung 23 Skizze eines spiralisierten Begriffskegels | 114 |
| Abbildung 24: Berechnungsbeispiel der Spiralisierungsparameter | 116 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 25: Spiralen mit unterschiedlicher visueller Dicht | 118 |
| Abbildung 26: Spiralisierte Plättchenpositionen in Polarkoordinaten | 120 |
| Abbildung 27: Vektoren der Referenzpunktanziehungskräfte | 130 |
| Abbildung 28: Positionierung der Dokumente | 131 |
| Abbildung 29: Darstellung eines Themensegmentes der Relevanzkugel | 132 |
| Abbildung 30: Gleichverteilte Positionierung durch platonischen Polyeder | 133 |
| Abbildung 31: Potentielle Segmentierung in 2D und 3D | 134 |
| Abbildung 32: Anzahlen möglicher Referenzpunkte mit ($e=1$) | 135 |
| Abbildung 33: 2D-Ergebnisdarstellung des VIBE-Systems | 137 |
| Abbildung 34: 3D-Ergebnisdarstellung der Relevanzkugel | 137 |
| Abbildung 35: Themensegment in der Relevanzkugel | 139 |
| Abbildung 36: Veränderung des Relevanzwertes eines Referenzpunktes | 141 |
| Abbildung 37: Die Architektur | 142 |
| Abbildung 38: Typische Startsituation in LyberWorld2Cordis | 146 |
| Abbildung 39: Ergebnis einer ersten Termexploration | 147 |
| Abbildung 40: Mehrfach expandierter Kontextbaum | 148 |
| Abbildung 41: Relevanzkugel in der Ausgangssituation | 149 |
| Abbildung 42: Visuelle Segmentierung in der Relevanzkugel | 150 |
| Abbildung 43: Relevanzkugel nach Manipulation der visuellen Dichte | 150 |
| Abbildung 44: Relevanzkugel und geöffneter Inspektionsraum | 151 |
| Abbildung 45: Redesign der Kontextbaumvisualisierung | 152 |
| Abbildung 46: Redesign der Relevanzkugelvisualisierung | 152 |

Anhang C: Definitionsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Definition 1: Inhaltsmenge | 66 |
| Definition 2: Anfrage | 67 |
| Definition 3: Ergebnismenge..... | 67 |
| Definition 4: Relevanzfunktion | 67 |
| Definition 5: Informationsdialog..... | 67 |
| Definition 6: Explorativer Informationsdialog | 68 |
| Definition 7: Kontextmenge | 68 |
| Definition 8: Interessensmenge | 69 |
| Definition 9: Relevanzmenge | 69 |
| Definition 10: Kernmenge..... | 69 |
| Definition 11: Explorativer und navigierender Informationsdialog | 75 |
| Definition 12: Fokus, aktueller Navigationszustand | 75 |
| Definition 13: Explorativer, navigierender und bewertender Informationsdialog | 76 |
| Definition 14: Bewertungsmenge..... | 77 |
| Definition 15: Explorativer, navigierender und bewertender Term-Dokument- Informationsdialog | 99 |
| Definition 16: Term-Dokument-Kontextbaum..... | 101 |
| Definition 17: Term-Dokument-Relevanzbewertungsmatrix..... | 123 |